Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke
Bibliothek:
Gruppe II H
Bd 40

BHS II H 40-2

Vorlesungen

über die

Naturlehre

zur

Belehrung derer, denen es an mathematischen Vorkenntnissen fehlt.

Von

Heinrich Wilhelm Brandes,
Professor in Leipzig.

Zweiter Theil.

Mit 4 Kupfern.

BIBLIOTHEK
DER K.B.GENERAL
BERGW.U.SALINEN
ADMINISTR.

Leipzig, 1831.
bei Georg Joachim Göschen.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Vorrede.

Nur wenige Worte habe ich diesem zweiten Theile voranzuschicken, da ich den Zweck und Plan der Vorlesungen schon im ersten Theile angegeben habe, und dieser, nach den mir bekannt gewordenen Beurtheilungen, mit Billigung aufgenommen ist. Aber ganz ohne Vorrede kann ich diesen zweiten Theil nicht lassen, da es wohl einer Entschuldigung bedarf, daß derselbe die Lehre von der Wärme noch nicht mit enthält. Allerdings war es meine Absicht, sie hier mit zu liefern; aber da die Verlagshandlung das baldige Erscheinen dieses zweiten Theiles wünschte, und ich mich der Gefahr zu übereilt zu arbeiten aussetzte, wenn ich auch diesen Gegenstand noch hätte abhandeln wollen, so hielt ich es für angemessener, die Wärmelehre für den dritten Theil zurückzulassen, welcher dann freilich die beiden ersten an Umfang übertreffen und die hier nicht ganz erreichte Bogenzahl reichlich ausgleichen wird. Daß ich die Lehre vom Lichte etwas ausführlich dar-

gestellt habe, bedarf bei der Wichtigkeit dieser Lehre wohl keiner Entschuldigung; ich hoffe auch die übrigen Lehren, ohne den Umfang des Buches zu sehr zu vergrößern, mit gleicher Vollständigkeit vortragen zu können.

Leipzig, am 1. März 1831.

H. W. Brandes.

Inhalt.

Erste Vorlesung. Wirkungen der Anziehungskraft in die Ferne und bei der Berührung. Haarröhrchen. Laplace's Theorie, angewandt auf einzelne Erscheinungen. Vera's Wasserhebungsmaschine. Rotation eines Uhrglases.

Zweite Vorlesung. Adhäsion flüssiger Körper an feste; Bewegungen, die daraus entstehen. Brown's Beobachtungen. — Absorption der Luft durch feste und flüssige Körper. Chemische Anziehung. Wahlverwandtschaft. Crystallisation.

Dritte Vorlesung. Eigenschaften einiger einfacher Stoffe. Zusammensetzung der Körper nach festen Proportionen.

Vierte Vorlesung. Das Licht. Gradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Schatten. Perspective. Sehewinkel. Bilder der Gegenstände im dunkeln Zimmer. Geschwindigkeit des Lichtes. Photometrie.

Fünfte Vorlesung. Zurückwerfung zerstreuten Lichtes. Spiegel. Der Crystallwinkelmesser. Spiegelsextant. Heliotrop. Hohlspiegel. Kugelspiegel. Cylinderspiegel. Kegelspiegel.

Sechste Vorlesung. Refraction. Prisma. Bestimmung des Brechungsverhältnisses. Vollkommene Zurückwerfung, die statt der Brechung eintritt.

Siebente Vorlesung. Linsengläser. Grad der Weiße. Das Auge. Ueber das Einfachsehen mit zwei Augen, über das Schielen, über das umgekehrte Bild im Auge. Brillen. Microscope. Spiegelmicroscop. Sonnenmicroscop.

Achte Vorlesung. Fernröhre. Lichtstärke. Raum durchdringende Kraft. Micrometer. Strahlenbrechung in der Luft; wunderbare Erscheinungen durch dieselbe. Funkeln der Sterne.

Neunte Vorlesung. Ungleiche Brechbarkeit der Farbenstrahlen. Newton's Theorie der Farben. Weiß. Ergänzungsfarben. Prismatisches Sonnenbild. Dunkle Linien in demselben. Genaue Bestimmungen für die Brechung. Erscheinungen im Prisma. Camera lucida. Achromatische Linsengläser.

Zehnte Vorlesung. Theorie des Regenbogens und der Nebensonnen.

Elfte Vorlesung. Farben undurchsichtiger Körper. Farben durchsichtiger Körper. Das Blau des Himmels und die Abendröthe. Dämmerung. Subjective Farben-Erscheinungen. Farbige Schatten.

Zwölfte Vorlesung. Die Emissionstheorie.

Dreizehnte Vorlesung. Die Undulationstheorie. — Schwierigkeit, die schon hier beide Theorien darbieten.

Vierzehnte Vorlesung. Ueber die Farben dünner Blättchen. Newton's Farbenringe. Ausrechnung der entstehenden Farbenmischungen. Seifenblasen. Anwandelungen des leichtern Durchgangs und der leichtern Zurückwerfung. Bestimmung der Wellenlänge für jeden Farbenstrahl. Ueber die natürlichen Farben der Körper.

Funfzehnte Vorlesung. Fortpflanzung der Aetherwellen über die Schattengrenze hinaus. Beugung des Lichts. Versuche im freien Lichte, und im dunkeln Zimmer. Erklärung der Beugungs-Erscheinungen durch die Undulationstheorie. Mittel, um diese Erscheinungen leicht zu beobachten. Interferenz-Erscheinungen beim Durchgange der Strahlen durch Gitter. Höfe um Sonne, Mond und den eigenen Schatten. Erscheinung am Regenbogen. Farben durch Zurückwerfung. Fresnel's Versuch über die Interferenzen.

Sechzehnte Vorlesung. Doppelte Brechung. Betrachtung der verschiedenen Fälle bei Crystallen mit einer Axe. Brechung durch zwei Crystalle und Reflexion von der Hinterseite. Crystalle mit zwei Axen. Geometrische Verschiedenheit der einfach und doppelt brechenden Crystalle. Ungleiche Ausdehnung durch die Wärme. Theoretische Erklärungen nach der Emissions- und nach der Undulationstheorie.

Siebenzehnte Vorlesung. Polarisation des Lichtes bei der Zurückwerfung von Spiegeln. Fälle, wo der Spiegel kein Licht zurückwirft. Bestimmung des Polarisationswinkels. Brechungsverhältniß für undurchsichtige Körper. Fälle, wo alles Licht durchgelassen wird. Vergleichung mit der Polarisirung durch doppelte Brechung. Biot's Erklärung. Polarisirung im Turmalin. Fresnel's und Cauchy's Theorie.

Achtzehnte Vorlesung. Farben-Erscheinungen in dünnen Gyps-Blättchen, sowohl bei der Zurückwerfung des polarisirten Strahles als beim Durchgange durch den Doppelspath. Verschiedenheit der Farben nach Maaßgabe der Dicke. Bewegliche Polarisation. Oscillation der Lichttheilchen. Farben zweier Blätter mit gekreuzten Axen. Fresnel's Erklärung aus den Interferenzen. Farbenringe in Crystallen und in schnell gekühlten Glasplatten. Polarisirte Strahlen im Blau des Himmels. Farbenvergleichung.

Neunzehnte Vorlesung. Licht-Erzeugung beim Verbrennen. Phosphorescenz durch Erwärmung, durch Bestrahlung. Phosphorescenz lebender Thiere, der Theile todter Thiere und der Pflanzen. Phosphorescenz durch Reiben, Zusammendrückung u. s. w. Chemische Wirkungen des Lichtes.

Erste Vorlesung.

Indem ich, m. h. H. heute zu einem neuen Abschnitte der Untersuchungen über die Erscheinungen in der Natur übergehe, finde ich mich veranlaßt, Sie zuerst an Betrachtungen zu erinnern, die uns schon zu andrer Zeit beschäftigt haben.

Schon bei den ersten Untersuchungen, die wir über die wesentlichen Eigenschaften der Körper anstellten, wurden wir auf die Betrachtung einer anziehenden Kraft geleitet, welche in jedem Theilchen der Materie wirksam ist, durch welche diese Theilchen zusammengehalten werden, und oft mit solcher Gewalt zusammengehalten werden, daß sie den zu ihrer Trennung wirksamen Kräften mit großer Stärke widerstehen, und uns gewisse Körper als sehr fest, als schwer zerbrechlich, als hart, kennen lehren. Diese anziehende Kraft der Materie fanden wir nachher auch da wieder, wo große Massen auf entfernte Körper einwirken, und das Fallen der Körper gegen die Erde zu, der Kreislauf der Planeten um die Sonne und mehrere ähnliche Erscheinungen zeigten uns die Gesetze, nach welchen diese Anziehungskraft auch in größere Fernen hinaus wirkt. Eben diese anziehende Kraft, diese Attractionskraft, zeigt sich uns aber auch in einer Reihe anderer Erscheinungen, und sie ist es, die — freilich auf eine schwer zu ergründende Weise — die Verbindungen und Trennungen der Körper bewirkt, mit welchen die Chemie sich beschäftiget.

Um die Wirkungs-Art der anziehenden Kräfte da, wo sie bei inniger Berührung der Theilchen auf einander wirksam sind, etwas deutlicher zu übersehen, wird es zweckmäßig sein, von den Erschei-

nungen, die dem Gebiete der Mechanik am nächsten liegen, anzufangen, und nach und nach zu denen überzugehen, wo sich uns endlich nicht mehr eine Bewegung der Körper oder ihrer Theilchen, sondern eine Veränderung der Natur der Körper selbst zeigt.

Wirkungen der Anziehungskraft fester Körper.

So lange die Körpertheilchen nicht in unmittelbarer Berührung sind, scheint, bei geringen wie bei großen Entfernungen, die Kraft der Anziehung so abzunehmen, wie die Quadrate der Entfernung zunehmen, und obgleich die geringe Einwirkung kleiner Massen keine bis auf das Aeußerste genaue Versuche gestattet, so scheinen doch Cavendishs Versuche dieses Gesetz zu bestätigen. Diese Versuche wurden so angestellt, daß man an einem langen und zarten Faden einen leichten, an beiden Enden mit Kugeln beschwerten Waagebalken aufhängte, und diesen durch nahe gebrachte, ziemlich große Bleimassen aus seiner Ruhelage zu entfernen suchte. Ein solcher Faden setzt der Drehung so wenig Kraft entgegen, daß bei Cavendishs Versuchen schon eine Kraft, die nur ein Funfzigstel vom Milliontel der Schwerkraft beträgt, eine Ablenkung hervorbringen konnte, und daher die durch die Attraction der Bleimassen auf die Kugeln am Waagebalken hervorgebrachte Einwirkung eine Aenderung der Stellung und eine Oscillation des Waagebalkens zur Folge hatte. Die Versuche, die bei der ungemeinen Empfindlichkeit der Drehwaage (denn so nennt man das Instrument), durch die geringsten fremden Einwirkungen gestört und unsicher gemacht werden können, verdienten wohl mit der von Cavendish angewandten großen Vorsicht wiederholt, und bei ungleichen Abständen der Bleimassen mehrmals angestellt zu werden, damit die Frage, ob auch bei sehr geringen Abständen noch jenes Hauptgesetz der Attractionen gelte, möglichst strenge entschieden werde. Cavendishs Versuche haben wenigstens gezeigt, daß diese Anziehung merklich genug ist, um bei einer so feinen Abmessung noch mit ziemlich viel Genauigkeit bestimmt zu werden *).

Eine andre Reihe von Versuchen, welche die Anziehung fester Körper gegen einander und auf flüssige Körper zu zeigen scheinen,

*) Gehlers phys. Wörterb. 3 Th. S. 950.

hat kürzlich Girard bekannt gemacht *). Es ist bekannt genug, daß fein zertheilter Thon sehr lange im Wasser schwebend bleibt und sich sehr langsam zu Boden setzt; wenn man nun in dieses getrübte Wasser ein Aräometer, um das specifische Gewicht des flüssigen Körpers abzumessen, bringt, so sollte dieses specifische Gewicht des Gemenges nur so groß sein, als es den Bestandtheilen des Gemenges gemäß ist; aber Girard behauptet, daß man das specifische Gewicht größer fände, und erklärt dies aus der größern Dichtigkeit, welche die von den Thontheilchen angezogenen, diese zunächst umgebenden Wassertheilchen annehmen. Das Wasser wird nach seiner Ansicht dichter in der Nähe jedes Thonstäubchens, und wenn diese Stäubchen nahe genug an einander, zahlreich genug, da sind, so zeigt sich uns nun das Wasser im Ganzen dichter, als es ohne dies sein würde. Schmidt hat indeß aus eigenen Versuchen gezeigt, daß diese angebliche Verdichtung sich in seinen Versuchen nicht wahrnehmen ließ **), und es ist also nur Girards zweite Reihe von Versuchen noch als einen Beweis für die Anziehung gebend anzusehen. Diese zweiten Versuche wurden mit Glasflächen, die an Fäden von 80 Linien lang pendelartig aufgehängt waren, angestellt, und es wurde die Zeit ihrer Schwingungen beobachtet, wenn die eine Glasfläche der andern sehr nahe gebracht war. Um diese Versuche ganz zu übersehen, stellen Sie sich (Fig. 1.) zwei ebne Glasplatten AB, CD vor, die man im Wasser einander sehr nahe bringen kann. Sie sind an den Fäden AE, CF so aufgehängt, daß sie Pendelschwingungen machen können, sobald man die 80 Linien entfernten Enden E, F, nach e oder f verschiebt, und dann die Platten, welche man bis dahin in ihrer Lage festgehalten hat, frei läßt. Damit die Wirkung der Schwere hier geringe sei und die Pendelbewegung langsam genug, um gut beobachtet zu werden, statt finde, werden die Glasplatten mit Korkstücken verbunden, wodurch sie ein nur sehr wenig größeres specifisches Gewicht als das Wasser behalten; und bei dieser geringen Einwirkung der Schwere werden nun, behauptet Girard, die Einwirkungen der einen Glasplatte auf die andre merklich. Man

*) Poggend. Ann. d. Phys. V. 41.

**) G. G. Schmidts Lehrbuch. (Giessen 1826.) S. 278.

bringt nämlich die beiden Glasplatten einander so nahe, daß nur noch ein dünner Silberfaden zwischen ihnen Platz hat, schraubt, während die Glasplatten noch in ihrer Entfernung erhalten werden, (Fig. 2.) F nach f, zum Beispiel in einem der Versuche $4\frac{1}{2}$ Lin. (ein Centimeter) weit, läßt dann die Platte CD frei und beobachtet die Zeit ihres ersten Pendelschwunges. Statt nun daß diese erste Schwingung 91 Secunden gebrauchte, wenn der Silberfaden die Platten in $\frac{1}{9}$ Linie Entfernung erhalten hatte, so betrug die Zeit 217 Secunden, wenn diese Entfernung nur $\frac{7}{100}$ Linie gewesen war, und 440 Secunden, wenn die Entfernung nur $\frac{1}{40}$ Linie betragen hatte. Stellen Sie sich nämlich in Fig. 2. diese kleinen Bewegungen stark vergrößert vor, so ist in dem Augenblicke, wo die Platte CD ihre Bewegung anfängt, der Faden Cf seitwärts abgelenkt; die Platte CD sollte also, weil sie doch um etwas weniges specifisch schwerer als Wasser ist, eine langsame Pendelbewegung anfangen; aber die anziehende Kraft der Platte AB und des zwischen beiden durch die ausgeübte Anziehung verdichteten Wassers hält CD zurück, bewirkt also, daß die Zeit der ersten Oscillation länger wird. Nach Girards Beschreibung bemerkt man diese zurückgehaltene Bewegung auch an der Art, wie die Bewegung erst nach sehr langer Zeit merklich wird. War ein so sehr dünner Silberdrath von $\frac{1}{20}$ oder $\frac{1}{40}$ Linie dick zwischen die Platten gelegt, so schien die frei gelassene Platte sich anfangs gar nicht zu bewegen, aber nach einer erheblichen Zeit sah man doch, daß während dieser höchst langsamen Fortrückung der Abstand zugenommen hatte, und daß die noch immer durch die andre Platte zurückgezogene Platte allmählig schneller fortrückte. Erst wenn der Abstand ungefehr 1 Linie wird, scheint die Platte sich der anziehenden Kraft der andern zu entreißen und nimmt eine schnellere Bewegung an.

Diese Beobachtungen gehören wohl unstreitig zu den feinsten, die man anstellen kann, offenbar sind sie, eben dieser Feinheit wegen, auch manchen Irrthümern unterworfen; aber da Girard als ein genauer und zuverlässiger Beobachter angesehen wird, so darf man doch wohl einiges Vertrauen auf diese Behauptungen setzen, und daher annehmen, daß die Anziehungskraft theils der Platten auf einander, theils noch mehr der Platten auf das Wasser, welches dadurch in einen etwas verdichteten Zustand versetzt zu

werden scheint, erheblich genug ist, um der hier äußerst geringen Einwirkung der Schwere zu widerstehen.

Cohäsion, vermehrt durch zwischenliegende flüssige Körper.

Es scheint aus diesem veränderten Zustande der Körper durch die Anziehung auch das feste Anhängen erklärt zu werden, welches bei festen Körpern durch eine dünne Schichte Fett oder selbst durch eine dünne Schichte eines flüssigen Körpers bewirkt wird. Es ist bekannt, daß zwei recht ebengeschliffene Metallplatten, aneinander gedrückt, schon trocken mit einiger Kraft zusammenhängen, daß aber dieser Zusammenhang sehr vermehrt wird, wenn man eine sehr dünne Schichte Oel zwischen sie bringt. Wir sind gewohnt, den Oeltheilen, als Theilchen eines flüssigen Körpers, nur einen sehr geringen Zusammenhang zuzuschreiben, und dennoch trennen sie sich in diesem Falle nicht so leicht; hier also muß wohl, unter der Einwirkung der einander so sehr nahen festen Oberflächen, sich die Natur des flüssigen Körpers verändert haben und dieser dem Auseinanderreißen dadurch mehr Widerstand entgegensetzen. Aus ähnlichen Ueberlegungen mag sich auch das feste Anhaften der Mörtel-Arten, des Kittes und so weiter erklären lassen, die eine so feste Verbindung für gewisse Körper bewirken, daß sie eher in der Mitte ihrer eignen Masse zerreißen, als von dem Körper, an welchem sie anhaften, sich trennen. Kalk, der ohne Zusatz von Sand trocken geworden ist, erlangt keine erhebliche Festigkeit; aber die genaue Mischung mit Sand giebt ihm die Eigenschaft eines so festen Verbindungsmittels; es muß also die Einwirkung der Sandkörner auf die zwischen liegende, sehr dünne Kalkschichte diesen Kalktheilchen die Eigenschaft, fester zusammenzuhängen, ertheilt haben.

Es läßt sich hieraus einigermaaßen übersehen, wie die Verschiedenartigkeit der Körper Ursache ist, daß gewisse Leim-Arten, Kitte und andere Verbindungsmittel zwar dienen, einige feste Körper fest zu verbinden, andre aber nicht; denn es ist gewiß, wie wir sogleich sehen werden, daß die hier in Betrachtung kommende Anziehung in den allerkleinsten Entfernungen sehr verschieden ist nach der ungleichen Natur der Körper.

Dieser wichtige Einfluß, den theils schon eine ungleiche Glätte der Oberfläche, ganz vorzüglich aber die ungleiche innere Beschaffenheit der festen Körper zeigt, wird am deutlichsten sichtbar bei der Berührung fester und flüssiger Körper. Es ist bekannt, daß gewisse Körper vom Wasser nicht naß werden, sondern daß das Wasser sich von ihnen zurückzieht, und wo es etwa nicht ganz sich von der Oberfläche entfernen kann, sich in Tropfen zusammenzieht, statt daß andre Körper benetzt, mit einer Wasserschichte überzogen, aus dem Wasser hervorgehn. Wenn eine dünne Wasserschichte auf einer horizontalen Oberfläche eines fetten Körpers angebracht wird, so zieht sie sich in Tropfen zusammen, und wir sehen hier deutlich, daß die fette Oberfläche das Wasser wenig anzieht, daß dagegen die irgendwo etwas mehr angehäuften oder zufällig etwas mehr festgehaltenen Wassertheilchen die umgebenden Wassertheilchen heran ziehen und so die größeren Tropfen bilden. Da hingegen, wo eine Befeuchtung der Oberfläche statt findet, halten diese Oberflächen die Flüssigkeit mit bedeutender Gewalt fest, und diese Kraft läßt sich in mehreren merkwürdigen Erscheinungen nachweisen.

Erscheinungen in den Haarröhrchen.

Eine der auffallendsten dieser Erscheinungen ist das Aufsteigen der Flüssigkeiten in Haarröhrchen. Es ist bekannt, daß wir in einer befeuchteten Feder die Dinte über die Oberfläche im Gefäße heraufsteigen sehen, daß in einer Reißfeder, deren Seitenflächen einander nahe sind, die Flüssigkeit, in welche wir sie eintauchen, hinauftritt; daß im Löschpapier die Befeuchtung, indem wir es in Wasser tauchen, viel höher als die Oberfläche geht; und das, was wir hier oft sehen, zeigt sich uns noch genauer in engen Glasröhren, die wir in Wasser, Alcohol und andre Flüssigkeiten eintauchen. Diese Röhren, die man ihres engen Durchmessers wegen Haarröhrchen nennt, füllen sich, wenn sie etwas befeuchtet in solche Flüssigkeiten eingetaucht werden, bis über die umgebende Oberfläche des Flüssigen mit diesem an, und zeigen uns dadurch, daß die Röhrenwände eine größere Anziehungskraft auf die Flüssigkeit ausüben, als die Theilchen des Flüssigen unter sich, indem nur durch diese Anziehungskraft jenes den Gesetzen der Hydrostatik anscheinend widersprechende Hinaufsteigen erklärlich ist. Dieses Hin-

aufsteigen findet gewöhnlich bei völliger Trockenheit der Wände der Röhre nicht statt, weil die Luft so fest an den Wänden anhängt, daß sie erst mit einiger Gewalt weggetrieben werden muß; hat sie aber einmal ihren Platz dem Flüssigen eingeräumt, so übt nun die Wand ihre ganze Anziehungskraft auf den flüssigen Körper aus.

Diese Anziehungskraft, die man in der Anwendung auf dieses Phänomen Haarröhrchenkraft, Capillar=Anziehung, genannt hat, äußert sich nur in den allerkleinsten Entfernungen, denn ein Fett=Ueberzug von der geringsten Dicke hindert jene Einwirkung der Oberfläche, die also in höchst enge Grenzen muß eingeschlossen sein. Aber wie geringe auch die Entfernung sein mag, bis zu welcher die Wirksamkeit dieser Kraft merklich ist; so erhellt doch, daß (Fig. 3.) die an der Mündung a der Röhre ab liegenden Wassertheilchen von der Röhrenwand hinauf, von der unteren Wassermasse hinabwärts gezogen werden, daß dadurch, indem der Zug hinauf größer ist als der Zug herab, diese zunächst an a liegenden Theilchen nicht mit ihrem vollen Gewichte herabwärts drücken, also dem von der freien Wassermasse her entgegen wirkenden Drucke nicht das Gleichgewicht halten können, sondern zu einigem Steigen des Wassers in der Röhre, wodurch die Gleichheit des von innen her wirkenden Druckes und des äußern Druckes hergestellt wird, Veranlassung geben. Dieses Steigen des Wassers über die Oberfläche des umgebenden Flüssigen ist am stärksten im Innern der Röhre, weil hier die Theile der Wand, indem jeder zum Heben einer und derselben Wassersäule beiträgt, sich einander unterstützen; aber in einigem Grade sehen wir diese Hebung der Oberfläche des Flüssigen auch an der äußeren Wand der Röhre, ja an jeder Wand, die eine Befeuchtung des Flüssigen angenommen hat, und der Grund, warum sie hier sehr geringe ist und schon in einer geringen Entfernung von der Wand sich in die Horizontal=Ebne der übrigen Oberfläche verläuft, ist leicht einzusehen.

Die Höhe, bis zu welcher sich in derselben Röhre verschiedenartige Flüssigkeiten erheben, ist sehr ungleich, und richtet sich nicht nach den specifischen Gewichten der Flüssigkeiten, sondern nach der eigenthümlichen Verschiedenheit der anziehenden Kraft, die auf den flüssigen Körper ausgeübt wird, oder nach dem Unterschiede der anziehenden Kräfte, welche die Theilchen des Flüssigen unter sich und

welche die Theilchen der Wand auf den flüssigen Körper ausüben. So steigt, nach Schmidts Versuchen *) in Glasröhren von 1 Lin. weit, Wasser 4,68 Linien, Weingeist 2,13 Linien, Schwefel-Aether 1,77 Linien, also die letztern, leichteren Flüssigkeiten weniger hoch als Wasser; und wenn gleich die Maaße der Höhen nicht bei allen Versuchen und bei allen Glas-Arten ganz genau gleich gefunden werden, so findet man doch diese so sehr bedeutende Ungleichheit für verschiedene Flüssigkeiten immer deutlich bestätiget. Und so wie hier bei einerlei Materie der Röhre die Höhen der verschiedenen Flüssigkeiten ungleich sind, so sind diese es auch, wenn man ungleichartige, aber gleich weite Röhren in einerlei Flüssigkeit eintaucht.

Wenn man gleichartige Haarröhrchen von verschiedenem Durchmesser in einerlei Flüssigkeit eintaucht, so steigt diese in den engeren Haarröhrchen höher, und zwar so, daß die Höhe doppelt so groß ist in der halb so weiten, dreimal so groß ist in der ein Drittel so weiten Röhre und so ferner. Der Grund hievon läßt sich so übersehen. Da es nur der Umfang der Röhre ist, welcher an der Mündung der Röhre in a das Heben bewirkt, so steigt freilich diese hebende Kraft auf das Doppelte, wenn der Durchmesser der Röhre und folglich ihr Umfang doppelt so groß ist; aber wenn unter diesen Umständen eine gleich hohe Säule gehoben würde, so wöge diese bei doppeltem Durchmesser viermal so viel **), und es läßt sich daher leicht erachten, daß jene doppelt so große Kraft nur eine halb so hohe (dabei dennoch das doppelte Gewicht besitzende) Säule hebt. Dieses Gesetz findet sich mit großer Genauigkeit in den Versuchen bestätigt.

Wenn man, statt das Wasser in einer cylindrischen Röhre aufsteigen zu lassen, zwei ebne Platten parallel und vertical eintaucht, so steigt es zwischen diesen nur halb so hoch als in einer cylindrischen Röhre, deren Durchmesser dem Abstande der beiden parallelen Platten gleich ist. Daß es niedriger stehen muß zwischen den parallelen Platten ist offenbar, da ein Heben der Säule durch

---

*) G. G. Schmidt Lehrbuch. S. 267. Gilb. Ann. XXXIII. 97.

**) Weil ein Kreis von doppeltem Durchmesser viermal so viel Fläche hat.

die rund um gehende Begrenzung in der Röhre, dagegen nur durch die Begrenzung an zwei Seiten zwischen den Platten statt findet. Aber auch daß die eine Höhe die genaue Hälfte der andern ist, läßt sich zeigen. Wenn die Platten 1 Lin. von einander entfernt sind, und wir unsre Aufmerksamkeit auf einen Theil = 1 Lin. lang richten, so tragen hier zwei Wände, die zusammen 2 Lin. in der Richtung des Umfanges oder des Horizontes lang sind, eine Säule von 1 Quadratlinie Querschnitt; der Kreis-Umfang ist bei 1 Lin. Durchmesser 3,14 Linien und sein Inhalt 3,14 Viertel-Quadratlinien. Die hebende Kraft ist also reichlich $1\frac{1}{2}$ mal (genau $\frac{3,14}{2} = 1,57$ mal) so groß im letzten Falle als im ersten, also muß auch das getragene Gewicht reichlich $1\frac{1}{2}$ mal (genau 1,57 mal) so groß sein, und wenn jener Plattentheil eine Wassersäule von 2 Linien Höhe, das ist 2 Cubiclinien trug, so muß die cylindrische Röhre 1,57 mal 2 Cubiclinien, das ist 3,14 mal 2 halbe Cubiclinien oder 3,14 mal 4 Viertel-Cubiclinien tragen, das ist eine Höhe von 4 Linien, weil der Querschnitt der Säule 3,14 Viertel-Quadratlinien betrug.

Auch zwischen parallelen Platten also sinkt die Flüssigkeit auf die halbe Höhe herab, wenn man jene doppelt so weit aus einander rückt, auf ein Drittel der Höhe, wenn man sie dreimal so weit aus einander rückt, und so weiter; und dieses kann man sehr bequem sichtbar machen, wenn man die verticalen Ebnen nicht mehr parallel, sondern so aufstellt, daß sie sich an der einen Seite HI berühren, an der andern einen erheblichen Zwischenraum lassen. Alsdann nämlich nimmt die Oberfläche (Fig. 4.) die Gestalt ABCF an, wo die Höhen BD, CE, FG, im umgekehrten Verhältniß des Abstandes von der Seite HI sind, in welcher beide Flächen sich einander berühren.

Laplace's Theorie der Erscheinungen in Haarröhrchen.

Gegen die Erklärung dieser Erscheinungen, nach welcher sie als Folge der anziehenden Kraft der Röhrenwand anzusehen sind, von der wir doch behaupten, daß sie nur bis zu höchst kleinen Abständen merklich sei, scheint ein Einwurf so fern statt zu finden, als man zweifeln könnte, ob eine in so enge Grenzen eingeschlossene

Kraft bis in die Mitte des Haarröhrchens wirken und dort die Flüssigkeit gehoben erhalten könne. Indeß ist dieser Einwurf offenbar leicht zu widerlegen, indem es von selbst erhellt, daß die Röhrenwand nur eine sehr dünne Schichte, die mit ihr in unmittelbarer Berührung ist, erhält, diese Schichte selbst aber trägt die zunächst anliegende Schichte, diese die abermals weiter nach dem Innern liegende u. s. w. So bilden sich Säulen, die die ganze Röhre füllen, jede näher gegen den Mittelpunct zu liegende immer um etwas Geringes niedriger, als die der Wand näher liegende, und die Oberfläche des Flüssigen in der Röhre bildet eine Höhlung, eine Concavität, deren Entstehung wohl aus diesen Bemerkungen deutlich wird. Aber diese Form der Oberfläche hat durch Laplace's theoretische Untersuchungen über diesen Gegenstand noch eine neue Wichtigkeit erlangt, indem Laplace's Untersuchung zeigt, daß die Anziehungskraft der obersten Schichte in der Röhre das Gleichgewicht der einmal gehobenen Säule erhält; und da ich die Hoffnung hege, daß eine etwas nähere Einsicht in die scharfsinnigen Schlüsse, auf denen Laplace's Theorie beruht, auch Ihnen angenehm sein wird, so werde ich versuchen, in populärer Darstellung Ihnen etwas von dem anzugeben, was den mathematischen Rechnungen Laplace's zum Grunde liegt.

Wir denken uns also jetzt die gehobene Flüssigkeit, ohne noch zu fragen, woher diese Gestalt der Oberfläche entstehe, als begrenzt an der obern Seite durch die gekrümmte Oberfläche ACB, (Fig. 5.) die wir als eine Kugelfläche ansehen dürfen. Die Wassertheilchen ziehen einander an, und wir müssen also zu bestimmen suchen, wiefern die Theilchen der den Punct C unmittelbar umgebenden Kugelschichte anders wirken, als es bei einer ebnen Oberfläche der Fall sein würde. Und hier erhellt leicht, daß, so eng begrenzt auch die Anziehungsweite der der Axe benachbarten Theilchen ist, doch die um C oberhalb DE liegenden Theilchen eine Anziehung hinaufwärts ausüben, die nicht statt fände, wenn (Fig. 5.) DE die Oberfläche ausmachte. Diese aus der kugelförmigen Gestalt der Oberfläche entspringende Anziehung auf die unmittelbar unter C in der Axe liegenden Wassertheilchen ist desto stärker, je kleiner der Durchmesser der Kugel ACB ist, indem bei einer kleineren Kugel die Dicke der über DE liegenden Schichte in sehr geringen

Entfernungen von C schneller zunimmt; eine genauere Untersuchung zeigt, daß diese Anziehung das Doppelte wird bei dem halb so grossen Kugeldurchmesser, das Dreifache bei dem ein Drittel so großen Durchmesser und so ferner; aber dieser Durchmesser selbst ist der Weite der Röhre proportional, und es ist daher die Anziehung der Wassertheilchen auf einander doppelt so groß bei der halb so weiten Röhre, dreimal so groß bei der ein Drittel so weiten Röhre und so ferner. Diese der Kugelschichte entsprechende Anziehung findet in C in der Axe der Röhre statt, sie findet dagegen offenbar nicht statt in F, in der freien horizontalen Oberfläche des Flüssigen; in C vermindert sie den hinabwärts gehenden Druck der Säule CK, die daher der ebenso tief hinab, bis zu einerlei Horizontallinie IK, reichende Säule FI nur dann das Gleichgewicht halten kann, wenn jene höher ist. Wir dürfen also behaupten, daß die Säule Cc, die oberhalb der Oberfläche des umgebenden Flüssigen liegt, durch diese gegenseitige Anziehung der Wassertheilchen auf einander getragen werde, daß die Einwirkung einer concaven Oberfläche einen Zug nach außen hervorbringe, welcher allein dieser Form der Oberfläche zuzuschreiben ist. Daß diese hebende Kraft in C, oder allgemein diese nach außen ziehende Kraft einer concaven Oberfläche, dem Halbmesser der Krümmung der Oberfläche umgekehrt proportional ist, erhellt aus dem Vorigen.

Wenn dagegen eine convexe Oberfläche statt findet, wie es beim Queckſilber meistens der Fall ist, so läßt sich die Betrachtung auf eine ähnliche Weise führen. Ist DCE (Fig. 6.) diese Oberfläche, ab die sie berührende Horizontallinie, so würden die dicht an C liegenden Theilchen der horizontalen Oberfläche eine anziehende Kraft hinaufwärts ausüben, welche nicht statt findet, wenn die oberhalb der Kugelfläche ihren Platz habenden Theilchen weggenommen sind; es findet daher an der convexen Oberfläche ein verminderter Zug hinaufwärts statt, und folglich kann das Gleichgewicht zwischen der Säule CH in der Röhre und der Säule Ff außer der Röhre nur dann bestehen, wenn jene Säule eine geringere Höhe hat. Man kann diese Betrachtung auch so ausdrücken: So geringe auch die Abstände sein mögen, von welchen her noch eine Einwirkung auf C statt findet, so sind es doch in der convexen Kugel-Oberfläche niedriger liegende Theilchen, die auf C wirken, und also

herabwärts ziehend wirken; ihre Wirkung würde zum Theil aufgehoben, wenn der Raum bis zur Horizontalfläche mit der Flüssigkeit gefüllt wäre, aber dieses findet jetzt nicht statt, und die gesammte Einwirkung des Flüssigen auf sich selbst besteht also an der converen Fläche in einem nach innen gekehrten Zuge, wodurch eine Vermehrung des Druckes hervorgebracht wird. Dieser nach innen gerichtete Zug bewirkt es, daß das Queckſilber in der Röhre **DE** niedriger steht als außerhalb, und hält auch in andern Fällen dem nach außen gerichteten Drucke einer höhern Säule das Gleichgewicht.

Andere Anwendungen dieser Theorie.

Daß ganz ähnliche Schlüsse statt finden, wenn die Oberfläche die Gestalt **gh** annimmt, (Fig. 5.) und sich an der Wand hinaufzieht, oder wie **FL**, (Fig. 6.) sich an ihr herabdrängt, erhellt nun von selbst. Aber mehrere merkwürdige Erscheinungen finden hierin auch eine leichte Erklärung und dienen umgekehrt zur Bestätigung der eben behaupteten Einwirkung der gegenseitigen Anziehung der Wassertheilchen an einer concaven und einer converen Oberfläche. Wenn man zwei verbundene Röhren (Fig. 7.) **ABCD**, deren eine, **CD**, sehr eng ist, nach und nach mit Wasser füllt, so beobachtet man, daß das Wasser zuerst in der engen Röhre höher steigt, so daß die eine Oberfläche etwa in **LM** steht, wenn die andere, bedeutend concave, sich in **NO** befindet. Dieses Höherstehen dauert fort, bis die concave Oberfläche die Mündung erreicht; aber man würde sich sehr irren, wenn man glauben wollte, daß die Röhre bei **D** ein Ausfließen gestatten würde, wenn man fortfährt, auf die etwa in **PQ** angekommene Oberfläche noch mehr Wasser zu gießen. War **PQ** die Oberfläche in der weiten Röhre, als der Rand der hohlen Oberfläche die Mündung **D** erreichte, so fängt, indem man bei **PQ** mehr Wasser zugießt, die hohle Oberfläche an, sich abzuflächen, weil keine höher hinauf liegende Röhrenwand mehr das Entstehen der hohlen Krümmung unterstützt; wenn die Oberfläche **RS** eben so hoch steht, als die Mündung **D**, so ist die Oberfläche bei **D** genau eben geworden; aber wenn man auch noch mehr Wasser langsam zugießt, so läuft es bei **D** nicht aus, sondern wenn die Röhre trocken ist, so bildet sich eine convexe Oberfläche bei **D**, und wenn es gelingt, diese bis zu einer vollen Halbkugel hinaufzu-

treiben, ohne daß sie sich über den trocknen Rand der Oeffnung D verbreitet, so findet man die Oberfläche TU in der weiten Röhre nun eben so hoch über D, als PQ unter D war, so lange die ganze Tiefe der Höhlung dauerte. Hier zeigt sich also recht überzeugend, daß der in der engen Röhre auf die untern Theile der Flüssigkeit ausgeübte Druck vermindert war um das Gewicht der ganzen oberhalb LM liegenden Säule des Flüssigen, so lange die Oberfläche NO ihre ganze Concavität behielt, daß diese Verminderung wegfiel, als die Oberfläche eben ward, und daß sie in eine Vermehrung des Druckes überging, sobald die Oberfläche convex wurde. Wenn das Experiment nicht so vollkommen gelingt, sondern das Wasser bei D sich im Hervordringen über die Dicke der Röhrenwand mit verbreitet, so daß die Wölbung nicht wie abc (Fig. 8.) eine Halbkugel, sondern wie dbe eine flachere Krümmung bildet, so steigt das Wasser im andern Schenkel nicht ganz so hoch ohne auszufließen, sondern nur so viel, als der geringern Krümmung angemessen ist.

Von eben dieser Einwirkung der Attraction der Kugelschichte hängt eine andere Erscheinung ab. Man nehme eine nicht zu sehr von der cylindrischen Gestalt abweichende, aber doch im Innern merklich conische Röhre, und bringe in dieselbe, indem man sie vertical und den engern Theil nach oben hält, eine geringe Quantität Wasser in ihr unteres Ende; so steigt dieses Wasser in ihr hinauf und kömmt erst an einer bestimmten Stelle zur Ruhe. Dies rührt daher, weil (Fig. 9.) die viel stärker gekrümmte Oberfläche AB eine stärkere Verminderung des Druckes der schweren Wassersäule hervorbringt, als die Vermehrung des herabwärts gehenden Druckes durch die viel flachere Krümmung der Oberfläche CD beträgt. Ist nun in dem untern weitern Theile der Röhre der Unterschied dieser Anziehungen so groß, daß der Druck der dort nur kurzen Wassersäule demselben nicht das Gleichgewicht hält, so zieht sich die Wassersäule höher hinauf in den engern Theil der Röhre, und da sie dort eine größere Höhe einnimmt, so wird endlich diese Höhe groß genug, um dem Unterschiede beider Anziehungen das Gleichgewicht zu halten. Wäre die Wassermenge so geringe, daß sie nie die hiezu ausreichende Höhe erlangen könnte, so würde der Tropfen sich bis an die obere Mündung ziehen und bis so weit,

daß die obere Fläche die verminderte Concavität erhält, wobei das Gleichgewicht statt finden kann. Ein Queckſilbertropfen würde ſich in einer Glasröhre hinaufziehen, wenn das untere Ende enger iſt. Auf ähnliche Weiſe zieht ſich zwiſchen zwei ſchief liegenden Glasflächen, deren Zwiſchenraum in der obern Gegend enger iſt, ein Waſſertropfen hinaufwärts.

Erſcheinungen, die mit der Anziehungskraft der Haarröhrchen zuſammenhängen.

Ehe ich die übrigen Erſcheinungen erzähle, die von eben dieſen anziehenden Kräften abhängen, muß ich Sie noch auf einige uns allen bekannte Phänomene aufmerkſam machen, die mit den bisher betrachteten in unmittelbarer Verbindung ſtehen. Wir tauchen ein Stückchen Zucker in Waſſer und ſehen das Waſſer in demſelben ſich hinaufziehen. Wir legen ein Streifchen Löſchpapier über die Ränder zweier neben einander ſtehender Gläſer, und ſehen, wenn das eine nicht völlig mit Waſſer gefüllt, das andere leer iſt, daß nicht allein das Waſſer ſich in dem Löſchpapier hinaufzieht, ſondern ſogar das Waſſer in das andere Gefäß hinübergeführt wird. Wir ſehen das heiße Oel im Dochte der Lampe hinaufſteigen. — Dies alles iſt die Wirkung der Haarröhrchenkraft, der Attraction, die alle dieſe Körper auf die flüſſigen ausüben; ja man kann, wenn man ſich zum Brennen einer in Glas leicht aufſteigenden Flüſſigkeit bedient, ſtatt des Dochtes gläſerne Haarröhrchen anwenden. Wenn wir mit einem Tuche ein Glas austrocknen, ſo iſt es dieſe Anziehungskraft, welche die Feuchtigkeit in die Zwiſchenräume des Leinens und ähnlicher Subſtanzen hineinbringt, durch welche wir das Austrocknen zu Stande bringen. Man hat das Emporſteigen des Saftes in den Pflanzen durch eben dieſe Kraft erklärt; und wenn man auch darin zu weit gegangen iſt, indem dazu gewiß noch eine Lebensthätigkeit mitwirkt, ſo iſt doch wenigſtens gewiß, daß auch die gewöhnliche Anziehungskraft nicht ganz ohne Einfluß dabei iſt.

Als eine Merkwürdigkeit muß ich doch hier Vera's Waſſermaſchine erwähnen, wo das Waſſer durch die Befeuchtung von Stricken hinaufgezogen wird. Sie beſteht (**Fig. 10.**) aus einem über zwei Rollen **A, B**, gehenden Seile ohne Ende; die um die untere Rolle **B** gehenden Theile des Seiles tauchen ſich in Waſſer

und befeuchten sich damit, und indem man mit schnellem Drehen der obern Rolle das Seil zu einem Umlaufe nöthigt, werden die nassen Theile b des Seiles hinaufgeführt und nehmen dabei, ganz mit Wasser bedeckt, desto mehr Wasser mit hinauf, je schneller die Bewegung ist; dieses streifen sie an der Rolle A ab, wo es in dem Kasten C aufgefangen, durch die Röhre D abgeleitet und in einem bei E angebrachten Gefäße gesammelt wird. Die obere Rolle ist nämlich, wie die Figur zeigt, in ein Gefäß eingeschlossen, das im Boden zwei Oeffnungen hat, um die Seile durchzulassen, das aber dennoch von dem erst an der obern Rolle sich seines Wassers entladenden Seile so reichlich Wasser erhält, daß dieses in Menge gehoben aus dem Gefäße abgeleitet werden kann. Die bedeutende Geschwindigkeit des Seiles erhält man dadurch, daß man die Axe der obern Rolle durch Hülfe eines größern Rades T in eine schnelle Umdrehung setzt. Der Erfinder hatte diese Maschine angewandt, um das Wasser 63 Fuß hoch zu heben; indeß ist diese Vorrichtung mehr merkwürdig als nützlich zu nennen, da die gehobene Quantität nicht so groß, als bei andern einfachen Hebemaschinen, ist.

Das Anhängen des Wassers am Gefäße ist ein Umstand, der uns oft sehr lästig ist. Will man nur wenig Wasser aus einem Gefäße ausgießen, so findet man es schwer, zu hindern, daß nicht ein Theil des Flüssigen am Gefäße herablaufend verschüttet werde. Der Strahl, der durch den Antrieb des herandrängenden Flüssigen die Form ABC (Fig. 11.) annehmen sollte, wird durch die Anziehung des Gefäßes zurückgehalten und fließt ungefähr, wie AD zeigt, herab; die anziehende Kraft des Gefäßes hebt nämlich die vorwärts dringende Geschwindigkeit auf, und man sieht oft recht deutlich, wie im einen Augenblicke die mit etwas mehr Gewalt andrängende und mehr Geschwindigkeit ertheilende Wassermasse dem Strahle seine Richtung nach B zu wiedergiebt, aber im andern Augenblicke der Strahl, weniger lebhaft vorausgetrieben, sich wieder an die Wand des Gefäßes anlegt. Man entgeht dieser Unbequemlichkeit fast völlig, wenn man die äußere Seite des Gefäßes ganz trocken abwischt und dann ein vorher benetztes Glasstäbchen in beinahe verticaler Richtung an die Ausgußmündung hält, wie Fig. 12. zeigt, dann zieht sich die Flüssigkeit gegen die Oberfläche des Stäbchens und fließt an ihr herab, mit desto weniger Gefahr hinterwärts

am Gefäße herabzufließen, je genauer man das Gefäß abgetrocknet hat, vorzüglich wenn man dem Strome an dem Stäbchen so viel Breite als möglich giebt.

Fast alle diese Bemerkungen bezogen sich nur auf die Körper, die vom Gefäße stark angezogen werden und sich daher an den Wänden desselben in die Höhe ziehen; aber auch die entgegengesetzte Erscheinung verdient unsere Aufmerksamkeit. Das Queckſilber gehört zu den Flüssigkeiten, die sich nicht leicht an eine Glaswand anlegen und die daher in Röhren eine convexe Oberfläche annehmen. Da wir nun wissen, daß eine solche Oberfläche, selbst mit ihrer höchsten Wölbung, nicht so hoch steht, als der Druck es bei horizontaler Oberfläche fordern würde, so müssen wir bei der Beobachtung des Barometers den Luftdruck nicht allein der bis zum höchsten Gipfel gerechneten Queckſilbersäule gleich rechnen, sondern noch etwas größer, und die Zugabe, die wir hinzurechnen müssen, ist größer in engen, als in weiten Röhren. Indeß ist diese Verminderung der Barometerhöhe durch die so große gegenseitige Anziehungskraft der Queckſilbertheilchen nicht bei allen Glas-Arten gleich, und es bleibt daher eine kleine Ungewißheit bei der Vergleichung von Barometern, die man nicht unmittelbar neben einander stellen kann, übrig.

Scheinbare Anziehung bis zu größer Entfernungen durch die Kraft der Haarröhrchen.

Noch eine andere Reihe von Erscheinungen, wo selbst in bedeutenden Entfernungen der Schein von Anziehung und Abstoßung statt findet, gehört hieher. Sehen wir auf dem Wasser in einem Gefäße Korkstückchen oder auch nur Bläschen schwimmen, so bemerken wir, daß diese schnell gegen einander und schnell gegen den Rand des Gefäßes zu gehen, wenn auch der Abstand noch ziemlich erheblich war; aber der Anschein einer so weit in die Ferne gehenden Anziehung der Körper beruht nur auf dem eben vorhin betrachteten höhern Stande des Wassers zwischen zwei einander nahe gerückten Wänden. So lange nämlich die schwimmenden, vom Wasser bis über die Wasserfläche hinauf befeuchteten Körper noch ziemlich weit von einander entfernt sind, ziehen sie zwar neben sich das Wasser etwas höher hinauf, aber doch nicht in erheblichem Grade; kommen

sie aber einander nahe, oder kommen sie nahe an den Rand, so steigt zwischen ihnen, wie zwischen zwei Glastafeln, das Wasser erheblich höher, und übt nun eine die Körper gegen einander ziehende Kraft aus. Sind **AB, CD,** (**Fig. 13.**) solche schwimmende Körper, so steht die Wasserfläche zwischen ihnen höher als an den äußern Seiten, und da beim Eingange des durch sie begrenzten Raumes, bei **a** ein Gleichgewicht der Pressungen statt findet, so ist in jedem oberhalb der Wasserfläche **EF** liegenden Puncte innerhalb des engen Raumes der Druck niederwärts geringer, als der Zug hinaufwärts. Wir sahen nämlich vorhin, daß das Gewicht der oberhalb **EF** liegenden Säule dem Anziehen der Kugelschichte **AC** das Gleichgewicht hielt; der Punct **b** also, der mit **EF** gleich hoch liegt, leidet von oben und von unten gar keinen Druck, da die oberhalb liegende Säule **ACb** genau von jenem Anziehen der Schichte **AC** getragen wird. Aber der Punct **c** wird hinaufwärts gezogen, weil die kleinere Säule **ACc** jenem Zuge nicht das Gleichgewicht hält. So lange die beiden Wände **AB, CD** fest gehalten werden, zeigt sich dieses Bestreben zu steigen nicht, sondern **c** und alle oberhalb **b** liegenden Puncte werden nur eben so hinaufwärts gedrückt, wie die tiefer liegenden Puncte **e** hinabwärts, ohne daß dadurch eine Störung des Gleichgewichts entstände; denn sollte **c** dem Zuge hinaufwärts folgen, so müßte die Wassersäule über **b** und **a**, wo Gleichgewicht statt findet, sich erhöhen, was nicht möglich ist. Aber wenn die Wände beweglich sind, wie es bei zwei schwimmenden, diese Wände bildenden Körpern der Fall ist, so hat jener in **c** hinaufwärts gehende Druck den Erfolg, daß die Wände einander näher rücken; denn indem dies geschieht, wird das Gleichgewicht in **a** immer wieder hergestellt, weil die allerdings höher gestiegene Säule nun auch von dem mehr gekrümmten Theile **AC** der Oberfläche mit mehr Gewalt hinaufgezogen wird. Dieses Gegeneinanderdrängen der Wände dauert fort bis sie sich berühren, und hierin liegt der Anschein des gegenseitigen Anziehens.

Dieses Anziehen findet auch statt, wenn Glastafeln in Quecksilber getaucht werden, oder wenn an den beiden beweglichen Wänden die Flüssigkeit niedriger steht, als die Horizontalfläche in dem weitern Gefäße. Dann nämlich besteht in **a** (**Fig. 14.**) wieder Gleichgewicht, so lange die Wände festgehalten werden; **b** leidet

einen Druck eben so groß als c, und selbst die unmittelbar unter der convexen Oberfläche e liegenden Theile leiden eben den Druck, wie die in d gleich hoch liegenden; denn die gegen den Mittelpunct der kleinen Kugel gerichtete Anziehung der Kugelschichte hält dem Drucke der Säule df das Gleichgewicht. Unstreitig aber leiden die oberhalb e liegenden Theile der Wände einen Druck von außen her und die Wände drängen sich daher gegen einander, und dieser Druck wird immer stärker, je näher sie schon einander sind, weil bei größerer Nähe das Queckſilber in e immer tiefer sinkt. Aus diesem Grunde vermehrt sich die Schnelligkeit, mit welcher die Körper gegen einander zu gehen, immer mehr, je näher sie einander kommen, und eben dieser immer stärkere Andrang gegen einander wird im vorigen Falle durch den Zug hinaufwärts innerhalb, wie hier durch den Druck hinabwärts von außen, hervorgebracht.

Aber das Umgekehrte findet statt, wenn zwei Wände entgegengesetzter Art sich eingetaucht finden. Wäre zum Beispiel eine Glasplatte (Fig. 15.) AB neben einer mit Fett bestrichenen Fläche CD in Wasser eingetaucht, so zieht sich das Wasser an der Fläche AB hinauf, und ist dagegen an CD hinabgedrückt; es steht aber gewiß tiefer in I als in H, und höher in K als in G, weil die entgegengesetzten Einwirkungen in G und H offenbar der Oberfläche in dem engen Zwischenraume eine halb convexe, halb concave Gestalt geben, und die Erhöhung sowohl als die Vertiefung der Oberfläche nicht ihren vollen Grad erreichen lassen. Ist aber dieses, so brauche ich wohl nur, auf das Vorige gestützt, mit wenigen Worten zu sagen, daß AB nach K hin stärker gezogen, daß CD von H abwärts stärker gedrückt wird, und daher die beiden Wände oder die beiden schwimmenden Körper einander müssen abzustoßen scheinen.

Ueber die Figur eines großen Queckſilbertropfens. Abmeſſung der Kraft des Anhängens fester Körper an flüſſigen. Schwimmen ſchwerer Körper.

Noch andere Fragen lassen sich aus einer genauer durchgeführten Theorie jener, durch die höchste gewölbte oder am meisten vertiefte Schichte ausgeübten Anziehung beantworten. Wenn ein großer Queckſilbertropfen in einer Glasschale oder ein großer Waſſer-

tropfen auf einer mit Hexenmehl (semen lycopodii) bestrichenen Fläche liegt, so nimmt der eine und der andere ungefähr die Form A C B (Fig. 16.) an. Die Oberfläche eines Flüssigen besteht allemal dadurch als Oberfläche, daß in ihr gar kein Druck des flüssigen Körpers statt findet; in den Puncten B oder A ist, bloß in Beziehung auf die Schwere, ein Druck, welchen die höher liegenden Theilchen ausüben, gewiß wirksam, und dieser muß also, wie das Bestehen der Oberfläche in dieser Form zeigt, durch eine entgegenwirkende Kraft zernichtet werden. Da die Oberfläche auch bei C eine schwache Wölbung hat, so verstärkt der bei C nach innen gerichtete Druck noch den durch die Schwere hervorgebrachten Druck; aber bei A und B ist die Krümmung der Oberfläche viel stärker, als in C, daher ist der nach innen gerichtete Zug der die convexe Oberfläche bildenden Theile sehr viel stärker als in C, und ausreichend, jenen beiden vereinigten Pressungen das Gleichgewicht zu halten. Daß eben hierauf die Gestalt der gewölbten Oberfläche beruht, die wir Wasser in einem am Rande trockenen Gefäße annehmen sehen, wenn es sich über den Rand erhebt, erhellt nun von selbst. Der entgegengesetzte Fall findet da statt, wo eine Metallplatte auf die Oberfläche A B (Fig. 17.) des Wassers gelegt und durch eine fremde Kraft hinaufwärts gezogen wird. Hat man hier A B sich vollkommen befeuchten lassen und bringt nun vermittelst einiger auf die Waageschale E gelegten Gewichte eine aufwärts ziehende Kraft an, so hebt sich eine Wassermasse mit A B über die eigentliche Wasserfläche C D hervor. Sie nimmt an den Seiten eine concave Oberfläche an, so wie die Figur zeigt; denn da die Wassertheile mit bedeutender Gewalt gegen den festen Körper A B gezogen und dadurch so erhalten werden, daß sie selbst in a, in der Horizontalfläche C D, gar keinen Druck ausüben, so ist oberhalb a ein hinaufwärts gehender Zug, der an der Seiten-Oberfläche als ein Zug nach innen sich zeigen würde, wenn nicht die hohle Oberfläche sich so bildete, daß der hinauswärts, gegen die hohle Oberfläche zu, gerichtete Zug jenem genau gleich wäre. Die Kraft, mit welcher eine solche Platte von Marmor oder Glas A B am Wasser festhängt, ist so bedeutend, daß sie nach G. G. Schmidts Versuchen 51, nach Parrots Versuche 55 Gran auf den Quadratzoll beträgt, und Schmidts Untersuchung zeigt, daß dies mit der

Berechnung sehr nahe übereinstimmt, wenn man diese auf die Höhe gründet, zu welcher das Wasser in Haarröhrchen steigt; bei Weingeist beträgt sie gegen Glas 33 Gran, bei Oel gegen Glas 41 Gran; bei Queckſilber gegen eine polirte Zinnplatte ſogar 497 Gran *). Nach Gay-Luſſacs Verſuchen **) für Waſſer gegen eine Glasſcheibe $53\frac{1}{3}$ Gran.

Zu den kleinen, aber recht anziehenden Verſuchen, die hier ihre Erklärung finden, gehört auch noch der, wo man ſtählerne Nähnadeln auf Waſſer ſchwimmen läßt. Die Nadeln müſſen ganz trocken und frei von Roſt ſeyn; wenn man ſie dann ſehr vorſichtig auf die Oberfläche des Waſſers legt, ſo drücken ſie um ſich das Waſſer zurück und liegen in dieſer Höhlung auf der Oberfläche. Sind mehrere einander nahe auf das Waſſer gelegt, ſo gehen ſie zu einander hin, legen ſich parallel und kommen nach einigen Oſcillationen, durch welche ſie neben einander hin und her gehen, zur Ruhe. Die glatte Oberfläche des Stahles nämlich hält die Lufttheilchen ſo feſt an ſich, daß ſie nicht leicht eine Benetzung zuläßt, und die einander ſtark anziehenden Waſſertheilchen, die von der Stahlfläche ſchwächer angezogen werden, bilden bei **c** eine convexe Oberfläche (Fig. 18.). Der Punct **b** leidet offenbar einen Druck durch die aufliegende Nadel von außen, durch die Waſſerſäule **dc** von innen her, und beide Preſſungen heben einander auf; die Waſſertheilchen bei **c** leiden, tiefer liegend als **d**, einen Druck der kleinen, höher ſtehenden Waſſerſäule; aber die Anziehungskraft, welche die Flüſſigkeit auf ſich ſelbſt an einer convexen Oberfläche **c** ausübt, iſt nach innen gerichtet und zerſtört jenen Druck. So ruht der viel ſchwerere Körper auf dem leichtern Waſſer, ſo lange er ſich nicht benetzt, und ſo lange ſein Gewicht nicht mehr beträgt, als das von ihm und der ihn umgebenden Höhlung aus der Stelle getriebene Waſſer. Aehnliche Verſuche gelingen, wenn man Nadeln und ähnliche Körper auf eine Waſſer-Oberfläche bringt, die mit Aether oder Terpentin-Oel bedeckt iſt.

Sie ſehen aus dieſen mannigfaltigen Erſcheinungen, theils wie folgenreich die von Laplace richtig aufgefaßte Betrachtung

---

*) G. G. Schmidts Lehrb. S. 271. 273.
**) Gilb. Ann. XXXIII. 317.

der gegenseitigen Anziehung der Theilchen an einer gekrümmten Oberfläche ist, theils wie bedeutend sich die Größe dieser Kräfte zeigt. Und doch war hier immer nur von der Differenz dieser Kräfte die Rede; denn wenn das Wasser an der emporgehobenen Platte AB (Fig. 17.) anliegt, so ist es nur der Ueberschuß der anziehenden Kraft der Platte gegen das Wasser über die Anziehungskraft der Wassertheilchen unter einander, welcher die Platte fähig macht, das Wasser zu heben, und eben so ist es in den Haarröhrchen nur der Unterschied der anziehenden Kräfte, welche die Röhrenwand und welche die Wassertheilchen ausüben, die wir kennen lernen. In andern Fällen sehen wir nur, daß die die krumme Oberfläche bildenden Theilchen eine etwas andere Einwirkung auf die benachbarten Theilchen zeigen, als es an einer ebenen Oberfläche der Fall ist, und immer lernen wir nur den Unterschied beider kennen; die ganze Kraft der Anziehung benachbarter Theilchen auf einander muß daher ganz gewiß noch weit größer seyn.

Ein Versuch, wo sich eine noch größere Anziehungskraft zeigt.

Es giebt einige Phänomene, wo eine viel größere Anziehungskraft thätig zu sein scheint, und wo wir also wohl glauben dürfen, wenigstens etwas näher jene ganze Kraft kennen zu lernen. Dahin rechnet Laplace den schon oft angestellten Versuch, daß man eine 4 oder 5 Fuß lange Glasröhre, die am einen Ende in einer reinen Wölbung zugeschmolzen ist, mit Queckſilber füllt, sie dann, wie eine mit der Mündung eingetauchte Barometerröhre, umkehrt, sie vorsichtig mit dem Finger geschlossen hält, bis man sie zu einer ganz ruhigen Stellung gebracht hat, und nun sehr oft das Queckſilber bis zum höchsten Theile der Röhre hängen bleibend sieht. Der Versuch gelingt etwas schwer, aber er gelingt doch, und das Queckſilber bleibt oft lange genug hängen, um die Ueberzeugung, daß es durch eine Adhäsion an der obern Wölbung der Röhre gehalten werde, zu begründen, indem der Druck der Luft es nicht so hoch erhalten könnte. Laplace sieht diese Wirkung als von der gesammten Größe jener Kraft abhängend an, glaubt aber, daß wir ihre wahre Größe doch selbst da nur sehr unvollkommen kennen

lernen. Ueber ihre wahre Größe scheinen nur die chemischen Erscheinungen einige Auskunft zu geben.

Rotation eines befeuchteten Glases.

Ich füge zum Schlusse dieses Gegenstandes noch die Beschreibung eines Versuches bei, der eine sehr auffallende Erscheinung darstellt. Wenn man ein Uhrglas an der convexen Seite mit einem Tropfen Wasser naß macht, und es nun so, daß der Tropfen an der Berührungsstelle liegt, auf einen Spiegel legt, so bewegt sich das Glas bei einer schwachen Neigung des Spiegels nicht in gerader Richtung herab, sondern geräth in eine, oft recht schnelle, Drehung. Diese Drehung entsteht ohne Zweifel dadurch, daß der Schwerpunct des Glases von dem durch den Tropfen festgehaltenen Puncte etwas abweicht, die einmal entstandene Drehung setzt sich, wie bei Kreiseln, leicht fort. Um die Ursache dieser Rotation des Uhrglases recht deutlich zu sehen, scheint mir folgende Anordnung des Versuches vorzüglich zweckmäßig. Man legt das Uhrglas auf den Spiegel so, daß der Wassertropfen die Mitte des Glases befeuchtet und sich gleichförmig um den mittlern Berührungspunct ausdehnt. Ist dies genau der Fall, so nimmt auch bei einer etwas geneigten Stellung des Spiegels, den ich als mit der niedrigern Seite gegen den Beobachter gekehrt annehme, das Uhrglas keine Rotation an. Aber nun drücke man einen Augenblick lang mit dem Finger den rechts liegenden Rand des Glases nieder, so setzt sich sogleich das Glas in eine drehende Bewegung, und zwar so, daß die links liegenden Theile unterwärts gehen, und diese Bewegung dauert nun ohne Aufhören fort, bis man durch einen Druck auf die links liegende Seite eine entgegengesetzte Bewegung hervorbringt. Die Ursache der Drehung besteht also darin, daß, indem ich das Glas an der rechten Seite niederdrücke, der Schwerpunct des Glases ohne Unterstützung ist, und also, indem er sinkt, eine Drehung um den durch den Wassertropfen festgehaltenen Punct anfängt; diese Drehung dauert, nachdem sie einmal eingetreten ist, aus ähnlichen Gründen fort, wie die regelmäßigen Schwankungen der Axe eines Kreisels, wenn dieser einmal um seine nicht genau vertical stehende Axe in drehende Bewegung gesetzt ist.

Bei einiger Aufmerksamkeit kann man diese Drehung auf einem reinen, ganz ebnen Glase lange Zeit fortdauern lassen, und sie zu einer großen Schnelligkeit bringen.

Zweite Vorlesung.

Ungleiche Adhäsion flüssiger Körper an den Oberflächen fester Körper.

Schon bei den Erscheinungen, die wir an den Haarröhrchen beobachten, zeigten sich Ungleichheiten, die von der Natur der einzelnen Körper abhängen; der eine flüssige Körper ward höher, der andre minder hoch in dem Haarröhrchen hinaufgezogen u. s. w. Diese stärkere Verschiedenheit zwischen der Anziehung der Glastheilchen und der Wassertheilchen die auf Wasser wirken, die geringere Verschiedenheit der auf Alcohol wirkenden Glastheilchen und Alcoholtheilchen zeigte sich hier; — also schon etwas von mehr oder minderer Verwandtschaft. Diese tritt aber deutlicher hervor in einem andern, leicht anzustellenden Versuche. Man gießt in eine flache Schale eine sehr niedrige Wasserschichte, so daß der Boden nur wenig bedeckt ist, und tröpfelt nun etwas Schwefel-Aether so hinzu, daß er, mit einiger Gewalt auf die Wasser-Oberfläche fallend, die Oberfläche des Gefäßes selbst berührt, so treibt er das Wasser zur Seite, indem er sich über einen breiten Theil des Bodens verbreitet, das Wasser zieht sich, wie auf einem fetten Körper, in einzelne Tropfen zusammen und erst wenn der Aether verdunstet ist oder auch sich mit dem Wasser gemischt hat, nimmt das Wasser seinen Platz wieder ein.

Die Erscheinung beruht offenbar darauf, daß die Glas-Oberfläche oder Porzellan-Oberfläche den Aether mehr anzieht, als das Wasser, daß sie also, sobald der Aether nur in einem Puncte sie berührt hat, sich des Tropfens bemächtigt, um ihn über alle benachbarten Theile der Oberfläche auszubreiten, wobei dann das Wasser den Platz räumen muß, und anscheinend abgestoßen wird, oder zurückflieht. Diese größere Neigung der Glasfläche, den Ae-

ther zu sich heranzuziehen, widerspricht nicht der Erfahrung, daß das Wasser höher in den gläsernen Haarröhrchen steht, als Aether; denn wenn auch die Kraft, mit welcher die Glaswände den Aether anziehen, 100 wäre, und die, womit sie das Wasser anziehen, nur 50, so kann das Wasser höher steigen, wenn die Wassertheilchen gegen einander nur mit 48, die Aethertheilchen gegen einander mit 99 gezogen werden, indem die Differenz = 2 ist bei den kleinern Zahlen, die das Wasser betreffen, und = 1 bei den größern, die den Aether betreffen.

Eben solche Versuche lassen sich nun auch mit Flüssigkeiten, die sich über andre flüssige Körper verbreiten, anstellen. Ein Tropfen fettes Oel breitet sich über eine Wasserfläche aus, aber er wird von ätherischem Oele zurückgetrieben, und einige Tropfen Wolfsmilchsaft treiben wieder das ätherische Oel zurück. Harze in Weingeist aufgelöst wirken ebenso wie Saft der Wolfsmilch. Link führt noch mehr ähnliche Versuche an und zieht aus ihnen den Schluß, daß dieses Bestreben, sich der Oberfläche zu bemächtigen, bei den Körpern am stärksten sei, deren chemische Verwandtschaft auch zu dem die Oberfläche bildenden Körper am größten ist. Es ist nämlich aus chemischen Versuchen bekannt, daß das Wasser zur Schwefelsäure und zum reinen Weingeist eine vorzüglich starke Verwandtschaft hat, und beide zeigen sich auch vorzüglich wirksam, um Oele und dgl. von der Oberfläche des Wassers zu vertreiben.

Bewegungen, die dieser ungleichen Adhäsion wegen entstehen.

Die Stärke dieser Flächen-Anziehung, die einigen Körpern gegen andre Körper eigen ist, läßt sich auf mehr als eine Weise sichtbar machen. Wenn man auf den trockenen und ganz reinen Boden einer Glasschale einen Tropfen Weingeist bringt, so verbreitet er sich sogleich über einen bedeutenden Raum, statt daß ein Wassertropfen dies in viel geringerem Maaße thut. — Wenn man Goldblättchen auf reinem Wasser schwimmen läßt, und nun einen Tropfen Weingeist oder Aether zwischen sie auf die Oberfläche des Wassers bringt, so ziehen die Goldblättchen sich vor dem die Oberfläche einnehmenden Tropfen Weingeist zurück; dagegen wenn man vorher einen Tropfen einer Auflösung von Harz in Weingeist auf

die Oberfläche des Wassers gebracht hat, so bleiben sie ganz ruhig, weil diese Auflösung sich der Oberfläche mit solcher Gewalt bemächtigt hat, daß sie nicht sie einer andern Substanz frei läßt.

Bei einigen Versuchen zeigen sich diese Bewegungen, die aus dem Zurücktreiben einer Substanz auf der Oberfläche einer andern entstehen, noch auffallender. Wenn man einen Tropfen Baum-Oel auf Wasser fallen läßt, so daß er nur als ein kleiner Kreis, nicht zu weit ausgebreitet, auf demselben schwimmt, so sieht man, daß dieser sich erheblich ausbreitet, wenn man einen Salmiakgeisttropfen, der an einer Glasröhre hängt, von oben herab demselben nähert; zieht man den Salmiaktropfen, ehe er das Oel berührt hat, wieder zurück, so nimmt das Oel seine vorige Gestalt wieder an, und man kann es so abwechselnd mehr ausgebreitet, oder mehr zusammengezogen erhalten. Ein andrer Versuch, den Corradori angiebt, der mir aber nicht so auffallende Erfolge zu geben scheint, ist der, daß man Korkstückchen stark mit Oel eingerieben auf dem Wasser schwimmen läßt, und ihnen einen Tropfen Salmiakgeist auch nur nähert, ohne das Wasser zu berühren. Sie gerathen in eine unregelmäßige Bewegung, zurückgestoßen von den Dämpfen des Salmiaks, und zeigen allerdings diese Bewegung deutlich genug, jedoch nicht gerade auffallend lebhaft. Diesen Bewegungen ganz ähnlich sind nun die, in welche man Kampherstückchen gerathen sieht, wenn sie auf ganz reinem Wasser schwimmen. Bringt man nämlich kleine zerbröckelte Kampherstückchen auf Wasser, so gerathen sie, als ob sie belebt wären, in die mannigfaltigsten Bewegungen, sie drehen sich, sie stoßen sich ab und so ferner. Legt man ein Stückchen Kampher auf einen nur sehr dünne mit Wasser bedeckten Teller, so vertreibt es das Wasser um sich herum, weil, wie Corradori wohl ganz richtig behauptet, die aus dem Kampher hervorgehende ätherische Substanz sich der Oberfläche des Gefäßes bemächtigt und sie dem Wasser entzieht. Ebenso nun, wie hier diese im Kampherdunste sich anlegende Substanz das Wasser von dem Besitze der Oberfläche des Gefäßes vertreibt, so scheint die Verbreitung der Kampfertheilchen, die sich dem Wasser beimischen, jene Bewegung der Kampherstückchen, deren Ausflüsse diese Bedeckung bewirken, hervorzubringen, und diese Bewegung wird offenbar dadurch befördert, daß die an jedem Spitzchen am lebhaf-

testen entstehende Auflösung auf die mannigfaltigste Weise auf die Kampherstückchen einwirkt. Das schnelle Verdunsten dieser flüchtigen Materie ist, nach Corradori's Meinung, der zweite Grund der Bewegung, weil dadurch jene Verbreitung über die Oberfläche immer wieder Aenderungen leidet. Indeß dauert es nicht lange, so hört die Bewegung fast ganz auf, weil die ganze Wasser-Oberfläche genug Kampherstheilchen aufgenommen hat, und nun ganz damit bedeckt ist. Bringt man die noch übrigen Kampherstückchen auf ganz reines Wasser, so fangen sie ihre Bewegung wieder an. Dagegen mislingt der Versuch, wenn sich nur einige fette oder unreine Beimischung im Wasser befindet *).

Browns Beobachtungen über die eigenthümliche Bewegung der kleinsten Körpertheilchen.

Diese Ursachen sind ohne Zweifel auch die Hauptveranlassung derjenigen Bewegungen, auf welche kürzlich durch Brown die Aufmerksamkeit der Physiker gelenkt ist. Dieser nämlich beobachtete, zuerst indem er den Blüthenstaub mehrerer Pflanzen unter dem Microscope betrachtete, an den aus den Pollenkörnern bei ihrem Aufbrechen hervorgekommenen kleinen Theilchen, nachher auch bei andern kleinen Theilchen mannigfaltiger Körper, im Wasser die mannigfaltigsten Bewegungen, so als ob diese Theilchen belebt wären. Er glaubte sich zu überzeugen, daß diese Bewegungen nicht durch äußere Umstände, nicht durch Verdunstung der Flüssigkeit u. s. w. hervorgebracht würden, und es schien also, als ob sie diesen kleinen Theilchen der Körper eigenthümlich sein müßten, als ob alle Körper aus belebten Grundbestandtheilchen zusammengesetzt wären **). Ueberraschend ist es allerdings diese mannigfaltigen Bewegungen unter dem Microscope zu sehen, die ganz den zufälligen und willkürlichen Bewegungen kleiner Thierchen gleichen; indeß haben Beobachtungen von Ehrenberg und Schultze wohl hinreichend gezeigt, daß man sie mit diesen nicht verwechseln darf, und meine eignen Beobachtungen haben mich überzeugt, daß so sehr

---

*) Runge beschreibt in Poggend. Ann. XVII. 472. die Bewegung kleiner Queckſilbertropfen, die vielleicht auch hieher gehört.

**) Poggend. Ann. XIV. 294.

auch diese Bewegungen das Ansehen von lebendiger Thätigkeit haben, sie doch ohne Zweifel nur von äußern Umständen abhängen. Da Schultze's Beobachtungen *) über diesen Gegenstand mir vorzüglich belehrend scheinen, so werde ich daraus das Wichtigste hier mittheilen. Da man die Bewegungen sehr leicht erkennt, die einem Fortströmen in den Theilen des Wassertropfens oder einer Erschütterung ihren Ursprung verdanken, so ist es kaum nöthig auf diese erst besonders aufmerksam zu machen; dagegen können die durch Ausdünstung bewirkten Bewegungen schon weit eher zu Täuschungen führen. Wenn man die Pollenkörner (Schultze beobachtete die des **Lamium purpureum**) in einem Wassertropfen unter das Vergrößerungsglas bringt, so platzen sie, und die hervordringenden kleinen Körperchen, eben die, an welchen Brown zuerst seine Beobachtung anstellte, haben eine drehende, zitternde, auf- und absteigende Bewegung. Diese Bewegung ist viel lebhafter in Weingeist, noch lebhafter in Schwefel-Aether, aber fast ganz gehemmt in Mandel-Oel. Hieraus läßt sich allerdings schließen, daß die stärkere Verdunstung der Flüssigkeiten die Bewegung lebhafter macht, wozu das ungleiche Hervorströmen dieser Ausdünstungen aus den verschiedenen Theilen der festen Körper beitragen mag; aber Schultze überzeugte sich, daß die Ausdünstung nicht die einzige Ursache der Bewegung sei, denn sie dauerte fort, auch wenn der Wassertropfen mit Oel bedeckt war. In diesem Falle zeigten sich oft die am lebhaftesten bewegten Theilchen mit kleinen Luftringen oder Dunstringen verbunden, die erst nach und nach dem Wasser gestatteten, die Theilchen ganz zu durchdringen, und die dabei eintretende Auflösung einiger Theilchen schien der Grund der Bewegung zu sein. Daß wirklich die allmählige Auflösung und damit verbundene Aenderung der Gestalt ein Hauptgrund solcher Bewegungen, gerade wie bei den Kampfertheilchen, sei, davon überzeugte er sich durch das Verhalten von Pulvern in einer mehr oder minder verdünnten Säure; und so scheint das Meiste auch hier auf solche Umstände, die wir schon von größern Körpern her

---

*) Microscopische Untersuchungen über des Herrn Robert Brown Entdeckung lebender Theilchen in allen Körpern von C. A. S. Schultze. Carlsruhe. Herder. 1828.

kennen, zurückzukommen; doch bemerkt Schultze, daß einige Erscheinungen ihm räthselhaft geblieben sind. Aus jenen Umständen und aus dem endlich eintretenden Ruhestande der feinen Theilchen ließ sich mit Recht schließen, daß jene Bewegung keinesweges eine allen Körpertheilchen zukommende besondere Eigenschaft sei. Aber nun fanden sich in eben den Schultzischen Beobachtungen allerdings auch Körper mit eigenthümlicher Bewegung, Thierchen, die theils in dem Bücherstaube oder anderen Staube enthalten, durch die Befeuchtung wieder belebt zu werden schienen, theils aber aus diesen Stäubchen als neu gebohren hervorgingen. Doch von diesen ist hier zu reden nicht der Ort.

Adhäsion der Luft an festen Oberflächen.

Nach dieser Abschweifung kehre ich zu der wichtigen Bemerkung zurück, daß einige Körper eine sehr große Flächen-Anziehung zu andern Körpern zeigen, und daß dabei eine Verwandtschaft, ein stärkeres Anziehen bei dem einen, ein minderes bei dem andern, statt finde. Eben diese Flächen-Anziehung scheint auch auf die Luft-Arten zu wirken, und sie in gewissen Fällen selbst da, wo sie unter schwereren flüssigen Körpern sich befinden, am Aufsteigen zu hindern. Die Luftblasen hängen sich fest an das Glas und es ist oft schwer, sie im Wasser oder im Queckfilber fortzutreiben. Dagegen drängt die Luft sich zuweilen an der Oberfläche des Glases da ein, wo sie durch eine Queckfilbersäule anscheinend zurückgehalten wird, und Daniell erklärt daraus die in einem längern Zeitraume sich im obern Raume der Barometer sammelnde Luft. Er nimmt nämlich an, daß die wenige Neigung, welche das Queckfilber zu einem dichten Anschließen an Glas zeigt, der Luft gestattet, sich zwischen dem Queckfilber und dem Glase einzuschleichen, und in den offenen Theil der Röhre eindringend, nach und nach in den obern Theil der Röhre, welcher luftleer sein sollte, zu gelangen. Daniell schlägt daher vor, einen Platinring in der Röhre anzubringen, weil dieser, ohne eine Auflösung vom Queckfilber zu erleiden, doch durch dasselbe benetzt wird, und den Durchgang der Luft nicht zuläßt. Faraday hat das Entweichen einiger Luft-Arten, obgleich sie mit Queckfilber gesperrt waren, noch auf eine andre Art nachgewiesen. Er brachte über Queckfilber eine Mi-

schung aus Wasserstoffgas und Sauerstoffgas in Flaschen, und ließ sie, mit Glasstöpseln geschlossen, mit der Mündung in Queckſilber getaucht, 15 Monate ruhig stehen. In dieser Zeit war ein Theil jener Gasmischung durch das Queckſilber, oder an der Glaswand fortgehend, entwichen, und atmosphärische Luft dafür eingedrungen *).

Absorption der Luft durch flüssige und feste Körper.

Ob auf eine ähnliche Weise die Luft auch durch eine Anziehung, wobei sie ihrer Natur nach ungeändert bleibt, in die flüssigen und festen Körper eindringt, ist ungewiß; aber bekannt ist, daß ein vollkommen ausgekochtes Wasser in einem luftvollen Raume aufbewahrt, Luft von der Art, wie die über seiner Oberfläche befindliche, in sich aufnimmt, daß es diese in sich behält, so lange eben der Druck der Luft auf die Oberfläche fortdauert, aber einen Theil davon unverändert entläßt, sobald der Druck der Luft auf die Oberfläche sich vermindert. Hiebei findet die Merkwürdigkeit statt, daß ein Wasser, welches kohlensaure Luft aufgenommen hat, von dieser Luft etwas hergiebt, wenn sich über der Oberfläche atmosphärische Luft befindet, und daß sie dagegen dann einen Antheil atmosphärischer Luft aufnimmt. Ein eben solcher Austausch, aber in nicht immer gleichen Verhältnissen der frei gelassenen und der neu absorbirten Luft, findet allemal statt, wenn das Wasser eine andre Luft-Art aufgenommen hat, und eine andre sich über seiner Oberfläche befindet; und darin hat Dalton einen Hauptgrund für seine Behauptung, daß jedes elastische Fluidum nur auf die ihm gleichartigen Theile einen Druck ausübe, gefunden, daß nämlich eine auf die Wasser-Oberfläche drückende kohlensaure Luft dem Bestreben der im Wasser enthaltenen kohlensauren Luft, aus dem Wasser hervorzudringen, einen Druck entgegensetze, während eine ebensoviel Elasticität besitzende atmosphärische Luft dieses nicht thue. Die Versuche über diesen Gegenstand sind so schwierig, daß man die Entscheidung über Daltons Ansicht, die wohl vorzüglich in diesen Versuchen gefunden werden könnte, noch nicht als mit völliger Sicherheit gegeben ansehen kann, zumal da doch offenbar sich

*) Poggendorf Ann. VIII. 127.

hier schon etwas, das Verwandtschaft heißen kann, einmischt. Diese Absorption von Luft bietet übrigens noch mehr Merkwürdiges dar. Bringt man ganz luftfreies, durch Kochen von Luft befreites Wasser in einen mit einer gewissen Luft=Art gefüllten Raum, so nimmt es bei schwachem und bei starkem Drucke gleich viel Luft derselben Art dem Volumen nach auf, nämlich ebensoviel Maaß doppelt so dichter Luft bei doppeltem Drucke, als Luft von der einfachen Dichtigkeit bei dem einfachen Drucke. Wird das Wasser wärmer, so entläßt es etwas Luft. Wenn das luftfreie Wasser unter dem Drucke einer gemischten Luftmasse steht, so nimmt es von allen Luft=Arten etwas auf, und zwar nach Daltons Angabe soviel als es aufnehmen würde, wenn jede der Luft=Arten in ihrer hier vorhandenen Dichtigkeit allein da wäre. Vermindert sich der von außen wirkende Druck derjenigen Luft=Art, die im Wasser enthalten ist, so tritt sie zum Theil aus dem Wasser hervor, und dieses Hervorkommen wird schneller befördert, wenn man feste Körper, besonders eckige Körper, hineinbringt; daher schäumt Bier mehr auf, wenn man harte Körper hinein wirft, und die Bläschen entwickeln sich auch sonst am Boden des Glases am meisten und vergrößern sich im Aufsteigen. Die Menge der Luft, welche das Wasser aufzunehmen fähig ist, findet man bei verschiedenen Luft=Arten sehr ungleich. Ein Maaß Wasser nimmt an Wasserstoffluft höchstens $\frac{1}{60}$ Maaß, an Sauerstoffgas nur ungefehr $\frac{1}{30}$ Maaß, an kohlensaurem Gas 1 Maaß, an salzsaurem Gas gegen 500 Maaß, an Ammoniacgas gegen 700 Maaß auf. Dabei nimmt das Volumen des Wassers etwas zu, wenn die Absorption nur geringe, wie bei kohlensaurer Luft, ist; aber sehr erheblich nimmt es zu, wenn die Absorption so viel, wie bei den zuletzt erwähnten Gas=Arten, beträgt. Auf ähnliche Art verhält es sich bei andern Flüssigkeiten.

Unter den festen Körpern hat vorzüglich die Kohle die Eigenschaft sehr viele Luft in sich aufzunehmen. Die verschiedenartigen Kohlen sind sich in dieser Hinsicht nicht gleich; aber 1 Maaß Buchsbaumkohlen, die vorher durch Ausglühen ganz von Luft befreit worden, nimmt über 1 Maaß Wasserstoffluft, 9 Maaß Sauerstoffluft, 35 Maaß kohlensaure Luft, 90 Maaß Ammoniacgas auf. Bei vermindertem Luftdrucke geht ein Theil der absorbirten Luft wieder hervor, und auch wenn die mit absorbirter Luft gefüllte

Kohle in eine andre Luft=Art gebracht wird, entläßt sie etwas von der Luft, die sie schon aufgenommen hatte, und nimmt dagegen etwas von der zweiten Luft=Art auf. Auch bei andern festen Körpern findet etwas Aehnliches statt.

Ob hiebei bloß die Adhäsion, eine ebensolche Anziehungskraft, wie bei den Haarröhrchen, thätig ist, läßt sich zwar nicht ganz entscheiden; aber die dem mechanischen Drucke so genau folgende Absorption, und das unveränderte Hervorgehen der absorbirt gewesenen Luft scheint hiefür zu sprechen. Indeß verdichtet sich die Luft offenbar sehr bedeutend in den Poren der festen Körper und selbst in den flüssigen, und diese anziehende Kraft der Körper übt also ohne Zweifel eine sehr bedeutende Gewalt auf die Luft aus. Auch ist diese Anziehungskraft nach der Verschiedenheit der Luft=Arten sehr ungleich, was uns, da schon bei den Haarröhrchen eben das statt findet, nicht sehr befremden kann *).

Chemische Anziehung. Veränderung der Körper bei chemischen Verbindungen.

Und nun ist es wohl Zeit, endlich zu den chemischen Anziehungen und den chemischen Verbindungen überzugehen. Die Stufenfolge von Wirkungen der Anziehung, wo zuerst nur unbedeutende Erfolge durch die Differenz der Wirkung fester und flüssiger Körper auf flüssige entstanden, wo die Wahl=Anziehung einer Oberfläche gegen eine Flüssigkeit mehr als gegen die andre sichtbar wurde, wo die Luft in hohem Grade verdichtet, aber auch mit einer nach der Natur der Luft=Art verschiedenen Gewalt, von flüssigen und festen Körpern aufgenommen wurde, — diese Stufenfolge von Wirkungen scheint uns zu jenen mächtigen Wirkungen gleichsam hinüber zu führen; aber dennoch ist der Uebergang zu den chemischen Wirkungen dadurch noch keineswegs aufgeklärt. Das läßt sich wohl einsehen, daß die Theilchen eines Flüssigen, einer Säure zum Beispiel, indem sie einen festen Körper innig berühren, seine Theilchen so anziehen können, daß sie dieselben nöthigen, die Verbindung mit ihren nächsten Nachbaren aufzugeben, sich aufzulösen,

*) Umständlicher ist dieser Gegenstand abgehandelt in Gehlers Wörterbuch I. 40.

in den flüssigen Körper überzugehen; es läßt sich einsehen, daß diese Anziehungskraft des flüssigen Körpers auf die nun schon getrennten Theile des Festen viel größer sein mag, wenn diese einzeln im Flüssigen schweben, indem nun nicht mehr von der Differenz der Wirkung benachbarter Theile des flüssigen und des festen Körpers die Rede ist, sondern der flüssige Körper seine ganze, volle Wirksamkeit ausübt; aber daß bei dieser großen Einwirkung auf einander nun beide Körper ihre Natur verändern, daß ihre kleinsten Theilchen so mit einander in Verbindung treten, daß ein ganz neuer Körper entsteht, das bleibt immer gleich dunkel. Und doch ist eben dies der Erfolg so sehr vieler chemischer Verbindungen. Bei einigen ist dies weniger auffallend oder findet überhaupt noch nicht statt; denn Salz in Wasser aufgelöst zeigt noch immer die eigenthümlichen Eigenschaften des Salzes, und obgleich man nicht durch mechanische Mittel das Wasser mehr davon trennen kann, so läßt doch das durch Wärme, durch Abdampfen fortgetriebene Wasser wieder dasselbe Salz zurück; aber bei andern Verbindungen ist die Natur des Körpers ganz verändert, das feste, glänzende Metall ist in ein Salz übergegangen, indem es sich mit einer Säure verband; in dieser Verbindung ist es auflöslich im Wasser u. s. w.

Beispiele dieser Art giebt es unzählige. Wenn man ein Stück Kalk (Kreide zum Beispiel), in Schwefelsäure legt, so löset sich nicht nur die Kalk-Erde völlig auf, sondern je mehr nach und nach aufgelöset wird, desto mehr verliert die Säure von ihrem sauern Geschmacke, und verliert diesen gänzlich, wenn sie soviel Kalk, als sie überhaupt auflösen kann, aufgelöset hat, oder damit gesättigt ist. Durch diese Auflösung entstehet ein Niederschlag, der sich im Wasser nicht auflöset, Gyps, schwefelsaurer Kalk; — ein Körper, in welchem sich Kalk mit Schwefelsäure verbunden hat, aber so innig verbunden, daß man keinen der beiden Bestandtheile mehr in seiner früheren Beschaffenheit darin wahrnimmt. — Soda in Salzsäure gelegt, löset sich mit großer Lebhaftigkeit aufschäumend auf, die Säure verliert dabei ihren sauern Geschmack, die Soda ihren laugenhaften Geschmack, und immer mehr, je näher die Auflösung der Sättigung kömmt, geht der Salzgeschmack unsers gewöhnlichen Kochsalzes hervor, das sich auch beim Abdampfen zeigt, und also als eine Verbindung beider Körper erkannt wird.

Chemische Wahlverwandtschaft.

Daß auch bei diesen chemischen Einwirkungen sich Ungleichheiten, die von der eigenthümlichen Natur der Körper abhängen, zeigen, läßt sich wohl erwarten; sie zeigen aber hier noch auffallendere Erfolge, als in den früher angeführten Erscheinungen. Wenn man Kalk in Salpetersäure aufgelöst hat, so ist eine gleichförmige ungetrübte Auflösung, die keinen Kalk mehr als unverändert enthält, entstanden. Setzt man aber dieser Auflösung Schwefelsäure zu, so fällt sogleich ein Niederschlag zu Boden, der im Wasser unauflöslich ist, und der sich ganz dem Gypse, der schwefelsauren Kalk-Erde gleich zeigt, die wir eben vorhin als aus der Auflösung des Kalkes in Schwefelsäure entstehend kennen lernten. Es zeigt sich also die Anziehungskraft der Schwefelsäure gegen Kalk-Erde mächtiger, als die der Salpetersäure gegen Kalk-Erde, und daher nimmt die Schwefelsäure die Kalktheilchen zu einer Verbindung mit sich auf, indem sie dieselben der Auflösung in Salpetersäure entreißt.

Man spricht daher von einer Verwandtschaft der Körper unter einander und von einer Wahlverwandtschaft, vermöge welcher hier die Kalk-Erde sich vorzugsweise, gleichsam aus Wahl, wegen näherer Verwandtschaft, der Schwefelsäure hingiebt, während sie die Salpetersäure verläßt. Eine ebensolche Wahlverwandtschaft, bei welcher die Schwefelsäure den Vorzug hat, zeigt sich schon bei der Auflösung der Kreide in Schwefelsäure. Kreide ist kohlensaure Kalk-Erde, das heißt, die Kalk-Erde ist hier schon mit einer Säure, die wir in Luftform, als kohlensaure Luft, kohlensaures Gas, kennen, verbunden; begießt man diese kohlensaure Kalk-Erde mit Schwefelsäure, so löst diese, vermöge ihrer stärkern Verwandtschaft, die Kalk-Erde auf, befreiet aber dadurch die Kohlensäure von ihrer Verbindung mit der Kalk-Erde, und wir sehen diese in Luftform, in Blasen, unter starkem Aufschäumen entweichen. Ebenso geschieht es bei der Auflösung der Sode, des kohlensauern Natrum, in Salzsäure, und in unzähligen andern Fällen. Eine ganz ähnliche Erscheinung zeigt sich dann, wenn zwei Flüssigkeiten, deren eine einen festen Körper aufgelöst enthält, eine größere Verwandtschaft zu einander, als zu dem festen Körper haben. Weingeist löset Harz auf, aber sobald man Wasser zu dieser Auflösung

gießt, entsteht ein Niederschlag; das Wasser nämlich hat eine stärkere Verwandtschaft zu dem Weingeiste und nöthigt daher die Harztheile, ihre Verbindung mit dem Weingeiste aufzugeben, so daß sie wieder als Harz die Flüssigkeit trüben und nicht mehr mit dem Weingeist verbunden bleiben. Diese einfache Wahlverwandtschaft tritt da ein, wo ein zusammengesetzter Körper durch einen einfachen zerlegt, einer jener Bestandtheile durch diesen dritten Körper aufgenommen, der andere aber freigelassen wird. Dagegen nennt man es doppelte Wahlverwandtschaft, wenn zu einem zusammengesetzten Körper ein zusammengesetzter Körper gemischt wird, und dieser so beschaffen ist, daß sein einer Bestandtheil sich mit dem einen Bestandtheile des erstern, sein zweiter Bestandtheil sich mit dem zweiten Bestandtheile des erstern verbindet. Blauer Vitriol, eine Verbindung von Kupfer mit Schwefelsäure, löset sich im Wasser auf; ebenso löset sich Soda, eine Verbindung von Natron und Kohlensäure, im Wasser auf. Bringt man beide Auflösungen zusammen, so entsteht eine doppelte neue Verbindung, indem die Kohlensäure mit dem Kupfer (eigentlich mit dem Kupfer-Oxyd) einen im Wasser unauflöslichen Körper bildet, der zu Boden fällt, während die Schwefelsäure mit dem Natron in Verbindung eingeht, aber als auflösliches Salz im Wasser aufgelöst bleibt, so daß man es erst durch Abdampfen aus dem Wasser herstellen könnte.

Wenn die Verwandtschaft des einen Körpers zu einem zweiten nicht hinreicht, um diesen zweiten von einem dritten zu trennen, so wird diese Trennung zuweilen dadurch, daß noch eine Mitwirkung eines neuen Körpers zu Hülfe kömmt, zu Stande gebracht. Eisen zum Beispiel hat ein starkes Bestreben, den Sauerstoff an sich zu ziehen, aber dennoch ist der Sauerstoff als Bestandtheil des Wassers zu innig mit dem zweiten Bestandtheile des Wassers, dem Wasserstoff, verbunden, als daß jene Anziehung des Eisens ihn von diesem trennen könnte. Mischt man aber Schwefelsäure zu dem Wasser, in welches das Eisen gelegt ist, so wird das Wasser zersetzt. Die Schwefelsäure nämlich hat zu dem mit Sauerstoff verbundenen Eisen (dem Eisen-Oxyd,) eine so starke Verwandtschaft, daß indem diese sich mit der Verwandtschaft des Eisens zum Sauerstoff verbindet, der im Wasser so fest gebundene Sauerstoff

ausgeschieden wird. Wir haben von dieser Zersetzung des Wassers schon bei einer andern Gelegenheit Gebrauch gemacht, nämlich bei dem Füllen der Luftballons mit einer leichten Luft=Art. Diese Luft=Art ist nämlich das Hydrogengas oder Wasserstoffgas, und man erhält sie, indem man ein Metall, Eisenfeile zum Beispiel, in verdünnte Schwefelsäure thut; hier wird das Wasser in seine zwei Bestandtheile, Oxygen oder Sauerstoff und Hydrogen oder Wasserstoff, zerlegt; der erstere mit dem Metalle verbunden geht in eine Verbindung mit der Schwefelsäure ein, der zweite Bestandtheil des Wassers (mit Wärmestoff verbunden,) giebt eben jene sehr leichte Luft=Art.

Reagentien. Auflösungen und Niederschläge.

Aus diesen Beispielen erhellt schon, daß es Grade der Verwandtschaft giebt, indem ein Körper zwar eine Verbindung mit einem zweiten eingeht, also eine Verwandtschaft zu ihm zeigt, aber diese Verbindung verläßt, wenn sich ihm ein ihm näher verwandter dritter darbietet, und auch von diesem sich wieder trennt, wenn ein ihm noch näher verwandter vierter ihm Gelegenheit zu einer neuen Verbindung gestattet. Auf dieser Kenntniß der Wahlverwandtschaften und der Grade dieser Verwandtschaften beruht ein großer Theil der Kunst der analytischen Chemie. Man hat nämlich für sehr viele Körper so nahe verwandte Körper kennen gelernt, daß man hoffen darf, durch Hülfe dieser die Gegenwart jener kennen zu lernen. Von solchen Körpern, die man anwendet, um die Gegenwart eines bestimmten Körpers auszufinden, sagt man, sie reagiren auf diesen, und deshalb heißen sie Reagentien. Eine der bekanntesten Substanzen, die als die Gegenwart des Eisens nachweisend dient, ist die Galläpfeltinctur; die Gallussäure ist so nahe mit dem Eisen verwandt, daß sie aus den meisten Auflösungen das Eisen trennt, und da das mit dieser Gallussäure verbundene Eisen eine sehr leicht kenntlich werdende, bläulich schwarze Färbung hervorbringt, so erkennt man die Gegenwart des Eisens in einer Auflösung durch das Hinzuthun dieser Säure, und durch den sich alsdann zeigenden Niederschlag. Ebenso hat man andere Reagentien, die die Gegenwart anderer Stoffe kenntlich machen. Diese Prüfungsmittel können jedoch dann keine Entscheidung geben, wenn

z. B., der nahen Verwandtschaft der Gallussäure auf Eisen ungeachtet, dennoch das Eisen an die Körper, von welchen man es zu trennen hoffte, fester gebunden wäre, so daß die Trennung nicht statt fände, und so in ähnlichen Fällen bei Reagentien für andere Körper *).

Die Reagentien sind desto brauchbarer, je sicherer ihre Verwandtschaft zu dem aufzusuchenden Körper das Uebergewicht über die meisten oder über alle Verwandtschaften eben des Körpers hat, und je deutlicher selbst sehr kleine Quantitäten des aufzusuchenden Körpers durch deutliche Färbung und ähnliche Veränderungen sichtbar werden. Einige Beispiele sind schon bei Gelegenheit der großen Theilbarkeit der Körper vorgekommen.

Die verschiedenen Mittel, deren man sich bedient, um bald in den durch Hitze geschmolzenen, bald in den durch Auflösung in flüssigen Zustand versetzten, zuweilen auch in den in fester Gestalt unter einander gemischten Körpern diejenigen Aenderungen hervorzubringen, welche durch die Verwandtschaft hervorgehen können, lassen sich hier nicht umständlicher angeben, indem es hier nur mein Zweck ist, die allgemeinsten Grundlagen der Chemie anzudeuten. Wenn ein den festen Körper berührendes Fluidum die Theilchen des festen Körpers stärker anzieht als diese einander, und so stark, daß die Cohäsionskraft überwunden wird, so gehen die Bestandtheile des festen Körpers nicht allein in die zunächst anliegenden flüssigen Theile über, sondern diese treten sie auch an die entfernteren ab. Jedes Theilchen des flüssigen Körpers, das noch keinen Theil des festen Körpers erhalten hat, übt seine ganze Gewalt auf diese ihm nahe verwandten Theile, die sich in den benachbarten flüssigen Theilen schon befinden, aus, und indem die dem festen Körper anliegenden flüssigen Theilchen die Bestandtheile des festen Körpers den entferntern abtreten, werden sie selbst desto mehr wieder fähig, mehr Theile des festen aufzunehmen. Haben nach und nach alle Theilchen schon viel von dem aufzulösenden Körper aufgenommen, so geht die Auflösung immer langsamer fort, die Kraft, mit welcher

---

*) So z. B. ist das Eisen mit der färbenden Substanz des Blutes so fest verbunden, daß es sich durch die gewöhnlichen Reagentien nicht davon trennen läßt. Poggend. Ann. VII. 84.

die Theilchen des festen Körpers angezogen werden, vermindert sich in dem Maaße, wie die Verbindung zu Stande gebracht ist, und endlich tritt eine Sättigung ein, wobei alle fernere Einwirkung aufhört.

Die Umstände, welche die schnellere Auflösung eines festen Körpers in einem flüssigen befördern, lassen sich hieraus leicht erklären. Ist der feste Körper durch Pulverisirung in kleine Stücke zerlegt, so bietet er mehr Oberfläche als in größern Stücken dar, und ist daher dem Auflösen mehr ausgesetzt. Wenn man die Flüssigkeit umrührt oder umschüttelt, so befördert man die Auflösung, weil die noch ungesättigten Theile besser mit dem aufzulösenden Körper in Berührung kommen. Auch die Erhöhung der Temperatur wirkt zum Theil mechanisch auf die schnellere Beförderung der Auflösung, theils indem sie eine innigere Berührung der Oberfläche des aufzulösenden Körpers bewirkt, theils indem sie durch Strömung eine fortwährende Mischung der noch ungesättigten Theile mit den gesättigten hervorbringt; aber allerdings zeigt die Wärme auch noch einen andern wesentlichen Einfluß, indem sie in vielen Fällen das auflösende Mittel fähig macht, eine größere Menge des aufzulösenden Körpers in sich aufzunehmen. Diese Verschiedenheit zwischen einem sehr erhitzten flüssigen Körper und eben dem Körper im abgekühlten Zustande ist oft so groß, daß sich beim Abkühlen zahlreiche Crystalle des vorhin aufgelösten Körpers niederschlagen. Alaun zum Beispiel löset sich in kochendem Wasser so reichlich auf, daß fast auf jeden Gewichtstheil Wasser auch ein Gewichtstheil Alaun kömmt, dagegen bei 8° **Reaum.** ungefähr 18 Theile Wasser nur 1 Theil Alaun auflösen; er crystallisirt daher in der Kälte, wenn eine kochende Auflösung der Sättigung nahe war. Dieser Umstand macht die Darstellung von Körbchen, die wie aus Crystall zusammengesetzt aussehen, möglich, wenn man durch Metallstäbchen, die ein Körbchen bilden, die Crystalle veranlaßt, an diese angelegt, eine regelmäßige Anordnung anzunehmen.

Nicht bloß die Wärme, sondern auch das Licht hat in manchen Fällen Einfluß auf die Affinitäts-Erscheinungen, wovon in der Folge Beispiele vorkommen werden. Aber einen noch wichtigern Einfluß zeigt die Electricität, so daß die electrische Beschaffenheit der Körper als höchst wichtig in Beziehung auf die Verwandtschafts-

grade anzusehen ist; doch davon kann erst bei den electrischen Phänomenen die Rede sein.

Alle diese einzelnen Umstände und selbst die genauesten Bestimmungen aller Umstände, die bei der Auflösung vorkommen, geben uns nur wenig Aufschluß über das Wesen dieses Processes. So offenbar es ist, daß hier die kleinsten Theile der Körper mit vieler Gewalt auf einander wirken, so bleibt uns doch die Art, wie sie sich so innig vereinigen, wie sie einander ganz zu durchdringen scheinen, und wie dadurch die Natur des neuen Körpers so ganz anders bestimmt wird, endlich wie sie bei dieser innigen Vereinigung doch noch immer trennbar bleiben, und unter gehörig angeordneten Umständen wieder einzeln hervortreten, sehr dunkel. Die atomistische Ansicht, welche den Körpern eine weit über die Grenzen unserer sinnlichen Wahrnehmung hinaus gehende Theilbarkeit beilegt, kann uns zwar zu einer Verdeutlichung dieser Erscheinung dienen, aber die Unsicherheit, ob wir das, was die Grenzen unserer sinnlichen Wahrnehmung überschreitet, richtig ansehen, wird wohl nie gehoben werden. Stellen wir uns indeß die Körper als in ihre feinsten Theilchen zerlegt, und nun das eine Theilchen des einen Körpers mit einem, zwei oder mehr Theilchen des andern fest verbunden vor, so könnte unserer Wahrnehmung der neue Körper allerdings als ein gleichförmiger, von beiden vorigen ganz verschiedener Körper erscheinen, weil diese Verbindung ungleichartiger Theilchen weit über die Grenzen dessen hinausliegt, was wir noch erkennen. Bei dieser engen Verbindung bliebe aber dennoch die Eigenthümlichkeit der einen Materie wahrhaft ungeändert, obgleich das vereinte Wirken zweier Materien auf unsere Sinne uns nicht mehr gestattet, jene Eigenthümlichkeit wahrzunehmen; die — doch immer nur neben einander liegenden, wenn gleich durch starke Anziehungskräfte an einander geknüpften Bestandtheile blieben immer fähig, einzeln wieder in neue Verbindungen einzugehen, sobald stärkere Kräfte als die, welche die vorige Verbindung erhielten, dazu Veranlassung gäben. Wenn wir es uns so denken, so ist es zwar freilich möglich, daß wir in unserm Schließen von dem Bekannten auf das Unbekannte irren; aber doch scheint es immer der am wenigsten unsichere Weg in der Naturforschung zu sein, wenn wir die Erscheinungen unter sinnliche Vorstellungen bringen,

und uns die Vorstellung von dem, was unsere Sinne nicht mehr erkennen, durch Vergleichung mit dem deutlich Erkennbaren erleichtern.

Crystallisation.

Noch dunkler bleiben uns die Ursachen, warum die Körper bei dem Ausscheiden aus flüssigen Auflösungen in so bestimmten Gestalten hervortreten, wie es bei dem Crystallisiren der Fall ist. Es ist bekannt, daß eine große Menge von Körpern, zum Beispiel die Salze, sich immer nur in gewissen Formen darstellen, daß diese Formen regelmäßig sind, und, wenn gleich hie und da an der vollkommenen Ausbildung gehindert, durch Nebenumstände abgeändert, doch dem Wesentlichen nach immer wieder so hervorgehen. Selbst in dem Innern mancher Körper, die uns gewöhnlich keine crystallische Bildung verrathen, findet diese, in vielen Fällen wenigstens, statt, und sie tritt oft bei der Auflösung so hervor, daß einige Theile des festen Körpers, eines Metalles zum Beispiel, leichter aufgelöst werden, und einen crystallisch geformten Körper übrig lassen. Einer der bekanntesten und leicht anzustellenden Versuche, der solche Crystallformen, wenn auch nur unvollkommen, zeigt, ist die Darstellung des sogenannten Metall-Moors (**Moirée métallique**), wo man eine recht rein abgewaschene Tafel verzinnten Eisenbleches mit einer verdünnten Salpetersäure übergießt oder benetzt, und in kurzer Zeit die mannigfaltigen bald baumartigen, bald anders geformten, crystallinischen Gefüge hervorgehen sieht, deren Schönheit man durch örtliche Erhitzung auf der andern Seite des Bleches befördert. Die Crystallformen, die man hier hervortreten sieht, sind diejenigen, welche das Zinn durch die Erstarrung beim Verzinnen des Bleches angenommen hat, die aber ohne jene Einwirkung der Säure unserm Auge unkenntlich geblieben wären. Eine ähnliche Crystallbildung in Körpern, die sie gewöhnlich nicht zeigen, kann man erhalten, wenn man bei Schmelzung durch Wärme die beim Erkalten entstandene Rinde durchstößt, ehe noch die innern Theile erhärtet sind, indem dann durch das Ausfließen des noch unerhärteten Körpers die bis dahin entstandene Crystallbildung frei liegend wird.

Die Bildung der Salzcrystalle, sie mögen nun beim Abdampfen, oder beim Erkalten in den Fällen, wo die kalte Auflösung nicht so viel Salz als die warme Auflösung enthält, entstehen, ist im Allgemeinen bekannt genug. Die Crystalle bilden sich desto größer aus, je langsamer die Zurückführung in den festen Zustand statt findet, und je mehr die Flüssigkeit dabei in Ruhe bleibt. Merkwürdig ist dabei, daß, so weit unsere Beobachtungen gehen, die Gestalt der Crystalle gleich vom kleinsten Anfange an dieselbe ist, wie bei der nachherigen Vergrößerung, und daß man die Ausbildung dieser Form selbst unter dem Microscop nicht eigentlich verfolgen kann.

Welche Kräfte wir uns hier als wirkend denken müssen, was für Eigenschaften die kleinsten Theilchen besitzen müssen, um sich gerade in so bestimmter Ordnung an einander anzulegen, das scheint dem Scharfsinn der Naturforscher noch ganz und gar ein Räthsel zu sein. Es ist offenbar, daß wir die ganze Natur der festen Körper, die Ursache ihrer mannigfaltigen Bildung, den Grund ihres in gewissen Richtungen größern, in andern Richtungen geringern Zusammenhanges verstehen würden, wenn wir eine Einsicht in die Wirkungs-Art dieser Kräfte besäßen.

Aber selbst über das näher liegende, über die verschiedenen Formen, die bei der Crystallisirung statt finden, über die systematische Uebersicht dieser Crystallformen u. s. w. kann ich Sie hier nicht unterhalten, weil der Gegenstand viel zu weitläuftig ist, um hier eingeschaltet zu werden, und in der That die Crystallographie zu einer ziemlich schwer zu übersehenden, ausgedehnten Wissenschaft geworden ist. Nur die Bemerkung mag hier noch Platz finden, die Haüy zuerst als Begründung einer vollkommenen Crystallographie gemacht hat, daß aus einerlei Grundform sehr ungleiche Crystalle durch bloße Zusammensetzung aus jener Grundform hervorgehen können.

Die Crystalle lassen sich in gewissen Richtungen sehr leicht, in andern Richtungen schwer zerlegen, und bieten daher natürliche Durchgangsschichten dar. Wenn man diese Blättchen nach und nach abhebt, so findet man sie nicht allemal den Seitenflächen parallel, sondern sie können zum Beispiel bei einem pyramidalisch zugespitzten Theile gar wohl gegen die Axe dieser Pyramide senkrecht

sein, statt daß sie in andern Fällen den Oberflächen parallel sind. Betrachtet man diese natürlichen Schichten des Crystalles als aus lauter gleichen regelmäßigen Körpern bestehend, die man integrirende Theilchen genannt hat, so können alle diese über einander liegenden Schichten entweder sämmtlich aus einer gleichen Anzahl solcher Theilchen bestehen, und dann bleibt jede folgende Schichte, also auch die die letzte Oberfläche bildende gleich groß, die Oberfläche selbst ist den Schichten parallel; oder diese Schichten bestehen nach der Längenrichtung aus immer gleich vielen Theilchen, während ihre Zahl nach der Querrichtung abnimmt; dann bilden diese immer schmäleren, endlich bis zu einer bloßen einfachen Reihe von Theilchen abnehmenden Schichten eine dachförmige Gestalt; oder die Schichten nehmen zugleich an Länge und Breite ab, bis sie sich in eine Spitze endigen und eine Pyramidenform hervorbringen. Dies reicht hin, um einen Begriff von den ungleichen Gestalten zu geben, die aus gleichen integrirenden Theilchen hervorgehen können, und um obenhin zu übersehen, daß die Mannigfaltigkeit der Formen theils nach der Verschiedenheit der integrirenden Theilchen, theils nach diesem Gesetze der Zusammensetzung sehr groß sein kann; daß aber bestimmte integrirende Theilchen doch nur bestimmte Formen geben können, und daher gewisse Körper zwar zu verschiedenen Crystallformen, aber doch nur zu denen, die einer einzigen Art integrirender Theilchen entsprechen, geneigt sind. Ein Beispiel von der einfachsten Art wird dies deutlich machen. Wenn man sehr kleine Würfel so auf und an einander schichtet, daß alle Schichten zehn Reihen in der Länge und zehn Reihen in der Breite haben, so gelangt man durch zehn Schichten zu einem großen Würfel, der tausend jener kleinen Würfel enthält, und der Würfel, Cubus, ist also eine der Crystallformen, die aus jenen Würfelchen hervorgehen kann. Aber nun lasse man auf jede aus hundert Würfelflächen gebildete Seite des Würfels eine Schichte von 9 mal 9, auf diese eine Schichte von 8 mal 8, von 7 mal 7, von 6 mal 6 Würfeln, so aufgesetzt sein, daß die Seitenreihen jedesmal frei bleiben; so entsteht auf jeder Würfelseite eine vierseitige Pyramide, und bei dem angenommenen Gesetze findet sich, daß die Ebenen **sOI, tOI** eine einzige vierseitige Seitenfläche bilden (Fig. 18 *), und daß dies an allen Seiten so der Fall ist. Bei dem Uebereinanderschichten mit gleich-

mäßiger Abnahme hat sich also aus Würfeln ein regelmäßiger Crystall mit 12 gleichen Seitenflächen gebildet; denn die vier Seitenflächen, die über jeder der 6 Würfelflächen entstanden, würden 24 dreiseitige Flächen geben; da aber immer zwei derselben sich zu einer vierseitigen vereinigen, so hat der Körper 12 gleiche vierseitige Seitenflächen.

Doch diese Betrachtung ist nur ein geringer Anfang dessen, was die Crystallographie und Crystallonomie leistet. Ueber die, wie es sich aus den Lichtphänomenen zu ergeben scheint, nicht nach allen Richtungen gleiche anziehende Kraft der Theilchen, und über die Möglichkeit, daraus die Bildung der Crystalle abzuleiten, wage ich nicht etwas weiter zu sagen, da dieser Gegenstand mir noch viel zu wenig klar entwickelt zu sein scheint.

Dritte Vorlesung.

So wenig es auch meine Absicht ist, m. h. H., und so wenig ich, als weit davon entfernt, mich für einen Chemiker auszugeben, es wagen darf, mich in eine tiefere Entwickelung chemischer Gegenstände einzulassen, so scheint es mir doch, daß einige in der neuern Chemie mit Glück beantwortete Hauptfragen hier noch erwähnt werden müssen, und von einigen Körpern und ihren Verbindungen hier geredet werden muß, so sehr auch immer diese fragmentarische Darstellung das Ansehn der Willkühr und der Unzulänglichkeit haben mag.

Von der Auffindung der einfachern Bestandtheile zusammengesetzter Körper habe ich Ihnen einen Begriff zu geben gesucht; aber die Frage, welche Körper sollen wir denn als einfach anerkennen, in welche Classen lassen sich diese einfachen Körper eintheilen, nach welchen Gesetzen gehen sie Verbindungen ein, habe ich noch gar nicht berührt.

Imponderable Stoffe.

Was die einfachen Körper betrifft, so sind wir genöthigt, materielle Einwirkungen auch da einzuräumen, wo wir keine wägbare Substanzen als wirkend antreffen. Licht, Wärme und Electricität, obgleich sie sich nicht durch Schwere als Materie zeigen, obgleich wir nur ihre Wirkungen wahrnehmen und ihre Materialität nicht mit den Mitteln, wie bei andern Stoffen, nachweisen können, zeigen sich doch so einwirkend auf die Körper, daß wir sie nicht anders als für Materie ansehen können. Die Chemie spricht am häufigsten vom Wärmestoff als Bestandtheil der Körper, und obgleich ich später auch von der Einwirkung des Lichtes und der Electricität werde reden müssen, so wird die Gelegenheit, sie zu erwähnen, sich hier doch noch nicht gerade darbieten.

Ponderable einfache Körper.

Die Eintheilung der wägbaren einfachen Körper hat bei den jetzt sehr erweiterten und tiefer gehenden chemischen Kenntnissen große Schwierigkeit, und wenn gleich von der einen Seite die große Reihe metallischer Körper sich ziemlich leicht als eine Hauptclasse darstellt, so ist es doch dagegen gar nicht leicht, bei den übrigen als einfach erkannten Körpern gewisse gleiche Eigenthümlichkeiten anzugeben, oder bequeme Merkmale, nach welchen sie wieder eingetheilt werden könnten, nachzuweisen. Gmelins Bemerkung, daß bei jeder Verbindung zweier Stoffe der eine mehr als chemisch formendes Princip, der andere mehr als chemisch geformtes Princip angesehen werden könne, und daß die nicht metallischen Stoffe den Character des formenden Princips vorzugsweise besitzen, scheint die Eintheilung noch am meisten ins Licht zu stellen; doch da ich hier nicht in den ganzen Umfang dieser Untersuchung einzugehen wagen darf, so will ich mich mehr bemühen, von einigen bekanntern und wichtigern, mit andern Zweigen der Physik in näherer Beziehung stehenden Stoffen etwas zu sagen, als mich über alle zu verbreiten.

Sauerstoff.

Manche Stoffe kennen wir nur in luftförmiger Gestalt und nehmen, aus Gründen, die in der Lehre von der Wärme vor-

kommen, an, daß sie diese gasförmige elastische Natur ihrer Verbindung mit dem Wärmestoffe verdanken. Ein solcher Stoff ist der Sauerstoff, das Oxygen, der mit Wärmestoff verbunden in der Sauerstoffluft (dem Oxygengas, der Lebensluft) vorhanden ist. Man hat ihn Sauerstoff genannt, oder Oxygen, Säure erzeugend, weil man eine Zeit lang sich berechtigt glaubte anzunehmen, daß die Säuren nur durch seine Verbindung mit andern Körpern entständen. Der Sauerstoff ist in der größten Menge auf der Erde vorhanden, indem er einen Hauptbestandtheil der Atmosphäre, einen Hauptbestandtheil des Wassers ausmacht und fast mit allen Körpern Verbindungen eingeht. Bei der Verbindung mit gewissen Körpern, z. B. Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel und andern, bildet er Säuren, — die sich nicht allein durch sauern Geschmack, sondern auch durch ihre Eigenschaft mehrere blaue Pflanzenfarben zu röthen und mit alcalischen Körpern und Metallen Salze zu bilden, auszeichnen. Der Sauerstoff ist derjenige Bestandtheil der Luft, welcher das Verbrennen unterhält und beim Athmen das Leben zu erhalten dient. Er verbindet sich mit den Metallen zu Oxyden, mit der Kohle beim Verbrennen zu kohlensaurer Luft u. s. w.

Wasserstoff.

Ihm in gewisser Hinsicht gegenüberstehend (bei der electrischen Beschaffenheit der Körper kömmt er als dem positiven Ende nahe stehend, vor, so wie der Sauerstoff dem negativen) ist der Wasserstoff, das Hydrogen, den wir auch nur in Luftform einfach darstellen können. Er ist im Wasser mit dem Sauerstoff zu einem Körper verbunden und hat daher, als Wasser bildend, seinen Namen. Die Wasserstoffluft, das Hydrogengas, ist eine brennbare Luft, die erhitzt sich entzündet und fortbrennt, wenn der Zutritt des Sauerstoffgas statt findet. Bei dieser Verbrennung verbinden sich die schweren Bestandtheile dieser Luft-Arten zu Wasser, und zwar so, daß ein Maaß Sauerstoffgas verzehrt wird, indem zwei Maaß (dem Volumen nach,) an Wasserstoffgas verbrennen. Da das specifische Gewicht des Sauerstoffgas 15,077 mal so groß, als das des Wasserstoffgas ist, so machen also 15,077 Gewichtstheile Sauerstoff und 2 Gewichtstheile Wasserstoff zusammen Was-

ser, oder in 1000 Gewichtstheilen Wasser sind 883 Gewichtstheile Sauerstoff, 117 Gewichtstheile Wasserstoff. Obgleich sich der Wasserstoff hier so wie der Sauerstoff, als eine geschmacklose, geruchlose Substanz, das reine Wasser darstellend, zeigt, so hat doch auch er die Eigenschaft, durch seinen Zutritt Säuren zu bilden, die zum Theil von eben so kräftigen Wirkungen sind, als die Sauerstoffsäuren. Mit dem Chlor bildet der Wasserstoff die Salzsäure, oder das salzsaure Gas, als eine sehr starke Wasserstoffsäure.

Das Wasser entsteht durch Verbrennen des Wasserstoffgas in Sauerstoffgas, und umgekehrt kann man Wasserstoffgas aus dem Wasser darstellen, theils in den oben schon erwähnten Processen, wo Wasser mit Hülfe einer Säure, die auf ein Metall einwirkt, zersetzt wird, theils indem man Wasser durch eine weißglühende eiserne Röhre gehen läßt, wo der Sauerstoff des Wassers sich zu einem Eisen-Oxyd mit dem Eisen verbindet, und der Wasserstoff als Wasserstoffgas frei wird.

Stickstoff.

Ein dritter Stoff, den wir nur luftförmig kennen, ist der Stickstoff. Die Stickstoffluft macht einen sehr großen Theil der atmosphärischen Luft aus; sie ist allein nicht geeignet, das Verbrennen zu unterhalten und ebenso wenig ist sie tauglich zur Erhaltung des thierischen Lebens. Der Stickstoff verbindet sich chemisch in verschiedenen Verhältnissen mit dem Sauerstoff und bildet Säuren, unter denen die Salpetersäure die bekannteste ist. Mit Wasserstoff verbunden giebt er Ammoniak.

Eudiometer.

Als Bestandtheil der atmosphärischen Luft hat er zu der Untersuchung der Luftgüte oder zu Bestimmung des Antheils athembarer Luft, der sich in der Atmosphäre findet, geführt. Diese Untersuchung hat man Eudiometrie genannt, und die Instrumente, deren man sich dazu bedient, Eudiometer. Da der Gegenstand so tief in das Gebiet der Meteorologie und der Kenntniß der Atmosphäre eingreift, so darf ich ihn hier nicht ganz übergehen, jedoch will ich nur zwei Arten, die Menge des in der Luft enthaltenen Sauerstoffgas zu bestimmen, angeben, nämlich diejenigen,

die mich am wenigsten nöthigen, in tiefere und mannigfaltigere chemische Angaben einzugehn.

Der Phosphor verbindet sich mit dem Sauerstoff zu Phosphorsäure, und nimmt so, in einem sehr langsamen Verbrennen, den Sauerstoff aus der Luft auf. Hat man nun atmosphärische Luft nach bestimmtem Maaße in eine weite Glasröhre gethan und über Queckſilber gesperrt ein Stück Phosphor hineingebracht, so wird nach und nach das Sauerstoffgas absorbirt, und der endlich übrig bleibende Rest von reiner Stickluft zeigt, welchen Antheil von beiden Gas=Arten die angewandte atmosphärische Luft enthielt. Man sperrt die Luft mit Queckſilber, da aus dem Wasser sich Luft entwickeln oder von demselben Luft aufgenommen werden könnte; aber etwas Wasser muß man, damit es die Phosphorsäure aufnehme, in den gesperrten Raum bringen. Man könnte durch höhere Temperatur die Vollendung der Zerstörung des Sauerstoffes beschleunigen, was aber leicht ein Zersprengen der Röhre zur Folge hat, wenn man dieses nicht etwa durch langsames Hinzulassen der zu prüfenden Luft hindert. Ein auffallender Umstand bei dem langsamen Verbrennen des Phosphors in niedrigen Temperaturen ist, daß es in ganz reinem Sauerstoffgas nicht eintritt, sondern die Entwickelung der mit Sauerstoff verbundenen Phosphordämpfe einen geschwächten Druck des Sauerstoffgas fordert, wenn sie eintreten soll.

Ein zweites eudiometrisches Mittel bietet das Verbrennen oder Verknallen des Wasserstoffgas dar, wenn es mit Sauerstoffgas verbunden ist. Man bringt in eine aus starkem Glase verfertigte Maaßröhre eine Quantität der zu prüfenden Luft und setzt ihr reines Wasserstoffgas zu, läßt dann einen electrischen Funken durchschlagen, der das Gemisch entzündet, wenn sich Sauerstoffgas darin befindet. Nach dem Explodiren sieht man, wie viel Maaß Luft verlohren gegangen, bei dem Verbrennen in Wasser verwandelt worden sind, und ein Drittel dieser Quantität ist der aufgezehrte Antheil an Sauerstoffgas, weil mit jeden 2 Maaß Wasserstoffgas 1 Maaß Sauerstoffgas verzehrt wird. Hätte man zu wenig Wasserstoffgas zugesetzt, so würde man das daran erkennen, daß der ganze Luftverlust nach dem Explodiren $1\frac{1}{2}$ mal so viel als die zugesetzte Luft betrüge; in dem Falle könnte noch Sauerstoffgas

übrig geblieben sein, und es ist daher nothwendig, sogleich soviel Wasserstoffgas zuzusetzen, daß es dem Volumen nach mehr als das Doppelte der in der Mischung vorhandenen Sauerstoffluft beträgt. Wenn eine Mischung sehr wenig Sauerstoffgas enthält, so entzündet sich die zugesetzte Wasserstoffluft nicht, und man muß durch einen Zusatz von Oxygengas, den man nachher wieder in Abzug bringt, die Verbrennung vorbereiten.

Die wichtige Frage, durch welche Mittel die Natur das Verhältniß der beiden in der Atmosphäre enthaltenen Luft-Arten beständig beinahe unverändert erhält, ist noch immer nicht ganz beantwortet. Auf mannigfaltige Weise wird immerfort und in großer Menge Sauerstoff aus der Atmosphäre zu andern Verbindungen verbraucht, vorzüglich in dem Athmen der Thiere und in dem Verbrennen, wo Kohlensäure auf Kosten eines Antheils Sauerstoffgas erzeugt wird, und dennoch finden wir die Menge dieser Luft-Art in Räumen, die irgend Zutritt der äußern Luft gestatten, immer gleich. Man hat zwar schon lange gewußt, daß die Pflanzen bei gesunder und frischer Vegetation im Sonnenlichte Sauerstoffgas erzeugen, aber da sie bei Nacht und selbst im Schatten diese Luft-Art wieder in sich aufnehmen, so hat man es zweifelhaft gefunden, ob die Vegetation jene Gleichheit herstellen könne. Indeß kennen wir bis jetzt keinen in der Atmosphäre vorkommenden Proceß, der geeignet wäre, den durch Athmen, Verbrennen und andre chemische Verbindungen verlohren gehenden Sauerstoff zu ersetzen, und dürfen daher doch wohl glauben, daß dieser Ersatz durch die Pflanzen statt finde, wenn gleich unsre Versuche im Kleinen und in gesperrten Gefäßen nicht geeignet sind, uns darüber völlig zu versichern, um so weniger, da das frische Wachsen und Gedeihen der Pflanzen im eingeengten Raume leicht gehindert wird, und doch dieses völlig gesunde Gedeihen der Pflanzen zu Hervorbringung des Sauerstoffgas erforderlich zu sein scheint.

Kohlenstoff. — Schwefel.

Auch den Kohlenstoff, als eine der merkwürdigsten einfachen Substanzen kann ich hier nicht ganz übergehen. Die gewöhnliche Kohle enthält ihn, aber verbunden mit Wasserstoff und einigen andern Materien; im Diamant dagegen, der einer völligen

Verbrennung fähig ist, scheint kein andrer Stoff mit ihm gemischt zu sein. In der Weißglühehitze, in der Hitze des Verbrennens, verbindet sich der Kohlenstoff mit dem Sauerstoff zu der Kohlensäure, die als elastische Flüssigkeit, kohlensaure Luft, fixe Luft, sich darstellt. Diese Kohlensäure findet sich in unzähligen Körpern gebunden, mit den erdigen u. a. Bestandtheilen der Körper vereinigt, und entweicht, wie ich schon gelegentlich erwähnt habe, in Form von zahlreichen Luftblasen, in einem Aufschäumen, wenn sie einem näher verwandten Körper denjenigen Bestandtheil, mit welchem sie verbunden war, überlassen muß, z. B. bei der Auflösung der kohlensauern Kalk-Erde in Schwefelsäure.

In dieser Verbindung erscheint der Kohlenstoff als chemisch geformtes Princip, als Basis einer Säure, verbunden mit dem Sauerstoff als formendem Princip; aber er zeigt sich in andern Fällen auch als formendes Princip. Auf ähnliche Weise ist es mit dem Schwefel der Fall, der mit Sauerstoff Schwefelsäure bildet, der mit Wasserstoff verbunden eine andre, jedoch schwache, Säure darstellt; aber in seiner Verbindung mit Metallen, in den Schwefelmetallen, giebt er allen diesen Verbindungen gemeinschaftliche Eigenschaften, die ihn als das formende Princip zeigen.

Chlor.

Nachdem man bei mehreren Säuren die Ueberzeugung erlangt hatte, daß sie aus einem, ihre Basis bildenden, Bestandtheile durch Verbindung mit Sauerstoff hervorgingen, glaubte man annehmen zu dürfen, daß alle Säuren auf diese Weise entständen, und die Salzsäure, deren Grundbestandtheil man nicht hatte entdecken können, wurde angesehen, als aus einem solchen — wenn gleich unbekannten — Radical und aus Sauerstoff bestehend. Eine Luft-Art, die anscheinend aus der Salzsäure mit Oxygen verbunden hervorging, erhielt den Namen oxygenirte Salzsäure. Aber fast zu gleicher Zeit machten Gay-Lussac und Thenard in Verbindung mit einander, und Davy, ohne durch ihre Arbeiten geleitet zu sein, die Entdeckung, daß eben diese oxygenirte Salzsäure, (oxygenirt salzsaure Luft,) ein einfacher Stoff sei. Unter den Versuchen, die zu dieser Ueberzeugung führten, kann ich hier nur den einen erwähnen, daß die von Wasserstoff und Feuchtigkeit

völlig befreite Kohle weißglühend erhalten in dieser Luft=Art dennoch unverändert blieb, so sehr sie sonst in dieser Hitze den Sauerstoff aufzunehmen geneigt ist. Dieser Versuch (der allein stehend freilich allenfalls eine andre Auslegung erlaubte) mit vielen andern verbunden, lehrte die Einfachheit jener Luft=Art, die nun Chlor, Chlorgas genannt wurde, kennen. Die Beobachtung, daß man Sauerstoff aus der oxygenirten Salzsäure da erhalte, wo Salzsäure hervorgeht, war ganz richtig; aber man hatte mit Unrecht dies für eine Zerlegung jener elastischen Flüssigkeit gehalten, und nicht darauf geachtet, daß die Erscheinung nur statt findet, wenn Wasser mit dabei zugegen ist; mit Rücksicht hierauf aber lautet die Erklärung des aus dem Chlorgas und dem Wasser Hervorgehens der Salzsäure und des Oxygen ganz anders, nämlich daß das zersetzte Wasser uns sein frei gewordenes Oxygen darbietet, die Salzsäure aber aus Chlor und Hydrogen, dem andern Bestandtheile des Wassers, entstanden ist. — Ich sehe wohl, daß in dieser Darstellung der Vorzug dieser Erklärung vor der frühern nicht hinreichend kenntlich wird, aber darauf kann ich bei der hier erforderlichen Kürze nicht Anspruch machen, und meine Absicht ist nur, die wichtige Bemerkung, daß es Hydrogensäuren giebt, wenigstens an diesem merkwürdigen Beispiele zu zeigen.

Metalle.

Ich übergehe die übrigen als einfach anerkannten oder angenommenen Körper, die sich an die bisher betrachteten anschließen, uud bemerke von der zweiten großen Reihe von Körpern, den Metallen, nur, daß sie immer als diejenigen Bestandtheile bei Verbindungen sich zeigen, welche diesen Verbindungen als Basis, als Substrat, dienen; ihre bestimmte Form, als Oxyde, als Salze, als Schwefelmetalle u. s. w. aber jenen Stoffen verdanken. Alle Metalle sind in ihrem einfachen Zustande undurchsichtig, und besitzen den bekannten Metallglanz; sie sind gute Leiter der Electricität, übrigens zu den mannigfaltigsten Verbindungen mit jenen eben vorhin betrachteten einfachen Körpern und den aus ihnen schon hervorgegangenen Verbindungen geeignet. Von diesen höchst mannigfaltigen Verbindungen will ich nur zwei erwähnen, die Oxyde als Verbindungen eines Metalles mit Sauerstoff, und die Salze

als Verbindungen dieser Oxyde mit Säuren. Unter den Oxyden nehmen auch die sonst sogenannten feuerbeständigen Alcalien ihren Platz ein, indem sich aus diesen durch Trennung des Sauerstoffs eigenthümliche Metalle darstellen lassen. Dasselbe gilt von der Kalk-Erde, Schwer-Erde, Thon-Erde u. s. w.

Zusammensetzungen der Körper nach festen Verhältnissen.

Wenn man die Auflösungen der Körper, wenn man die verschiedenen Körper, die aus einerlei Bestandtheilen gebildet sind, oberflächlich betrachtet, so kann man zu dem Gedanken, als ob das Verhältniß der Bestandtheile in diesen zusammengesetzten Körpern sehr zufällig sei, veranlaßt werden; aber diese Meinung ist unrichtig, und die Körper befolgen dagegen in ihren Verbindungen meistens sehr einfache, und allemal sehr bestimmte Verhältnisse. Nur da, wo bei der chemischen Verbindung keine wesentlich neue Eigenschaften hervorgehen, wie z. B. wenn Weingeist sich mit Wasser mischt, da kann, obgleich wir diese Mischung nicht mit einer bloß mechanischen Mengung verwechseln dürfen, ein sehr mannigfaltiges Verhältniß der Mischungstheile eintreten.

Von dem einfachen Verhältnisse in Rücksicht der Quantität der Mischungstheile habe ich kurz vorher schon ein Beispiel angeführt, und es ist nicht etwa nur beinahe, sondern strenge wahr, daß aus einem Maaß Sauerstoffgas und zwei Maaß Wasserstoffgas Wasser entsteht. Und so wie hier das 1 und 2 so einfach vorkommt, so ist es in unzähligen andern Fällen. 1 Maaß Chlorgas verbindet sich mit 1 Maaß Wasserstoffgas zu 2 Maaß salzsaurem Gas, — nur unter der Einwirkung des Lichtes. — 1 Maaß Sauerstoffgas verbindet sich mit 2 Maaß Stickgas zu einer eigenen Luft-Art, dem oxydirten Stickstoff; dagegen 1 Maaß Sauerstoffgas mit 1 Maaß Stickgas zum Salpetergas.

Bei andern Verbindungen, wo die Stoffe nicht in Luftform vorhanden sind, läßt sich die Regelmäßigkeit nach den Gewichten übersehen. Der Schwefel verbindet sich mit dem Sauerstoff zu vier verschiedenen Säuren; nach Berzelius Angabe entsteht die erste, wenn sich 1 Gewichtstheil Sauerstoff mit 2,01 Gewichtstheilen Schwefel verbindet, die zweite, wenn sich 2 Gewichtstheile

Sauerstoff mit 2,01 Gewichtstheilen Schwefel verbinden, die dritte, wenn sich $2\frac{1}{2}$ Gewichtstheile Sauerstoff mit 2,01 Gewichtstheilen Schwefel verbinden, die vierte (die Schwefelsäure,) wenn sich 3 Gewichtstheile Sauerstoff mit 2,01 Gewichtstheilen Schwefel verbinden. Ebenso kennt man vier Oxydationsstufen des Stickstoffs, in welchen 1, 2, 3, 5 Gewichtstheile Sauerstoff mit 1,77 Gewichtstheilen Stickstoff verbunden sind; und hiebei ist zugleich in den Raummaaßen das merkwürdige, daß 2 Maaß Stickgas mit 1 Maaß Sauerstoffgas, mit 2 Maaß Sauerstoffgas, mit 3 Maaß, mit 5 Maaß Sauerstoffgas diese Verbindungen geben *).

Eine ebenso merkwürdige Zahl als es 2,01 beim Schwefel war, ist 3,39 beim Eisen, 3,96 beim Kupfer. Es verbinden sich nämlich 3,39 Gewichtstheile Eisen mit 1 Gewichtstheil Sauerstoff zu Eisen-Oxydul und mit $1\frac{1}{2}$ Gewichtstheilen Sauerstoff zu Eisen-Oxyd; es verbinden sich 3,96 Gewichtstheile Kupfer mit $\frac{1}{2}$ Gewichtstheil Sauerstoff zu Kupfer-Oxydul, mit 1 Theil Sauerstoff zu Kupfer-Oxyd. Und eben diese Zahlen finden sich nun auch bei den Verbindungen dieser Metalle mit Schwefel, dieser Metalle mit Schwefelsäure u. s. w., wieder. Das Eisen bildet nämlich drei Verbindungen mit Schwefel und zwar so, daß 3,39 Gewichtstheile Eisen mit 2,01 Gewichtstheilen Schwefel die erste, 3,39 Gewichtstheile Eisen mit $1\frac{1}{2}$. 2,01 (oder mit 3,015) Gewichtstheilen Schwefel die zweite, endlich 3,39 Gewichtstheile Eisen mit zweimal 2,01 oder 4,02 Gewichtstheilen Schwefel die dritte bilden. Und ebenso ist im Schwefelkupfer ein Gewichts-Antheil von zweimal 3,96 Kupfer zu 2,01 Gewichtstheilen Schwefel.

An diese Erfahrungen knüpft sich wohl sehr natürlich der Gedanke, daß diese Verbindungen auf eine Vereinigung bestimmter Atome dieser Substanzen mit einander hindeuten. Nimmt man an, daß 1 Atom Sauerstoff sich mit 2 Atomen Wasserstoff zu Wasser verbindet, so folgt man genau dem, was die Verhältnisse der Räume angeben, und ebenso darf man annehmen, daß 1 Atom Chlor mit 1 Atom Wasserstoff verbunden, die Salzsäure, Hydro-

---

*) Das specifische Gewicht des Sauerstoffgas verhält sich zu dem des Stickgas, wie 1,1036 zu 0,9691, oder wie 1 zu 0,88, oder wie 2 zu 1,77.

chlorsäure, giebt. Hieraus ergiebt sich dann das, was man Atomengewichte nennt, von selbst. Die Abwägung zeigt, daß 88,9 Gewichtstheile Sauerstoff mit 11,1 Gewichtstheilen Wasserstoff Wasser bilden; da wir in dem letztern Gewichte, wegen des doppelten Volumens doppelt so viel Atome als im erstern annehmen, so ist 88,9 zu 5,55, oder 100 zu 6,24, das Verhältniß der Atomengewichte beider Körper, und wenn wir 100 als das Atomengewicht des Sauerstoffs annehmen, so ist das des Wasserstoffs 6,24, das des Wassers = 112,5, (nämlich 100 und zweimal 6,24.)

Um Sie nicht mit allzuvielen Zahlen zu unterhalten, will ich nur die oben angeführten Beispiele noch auf die Atomenzahlen zurückführen. Wenn das Atomengewicht des Schwefels = 201 gesetzt wird, so gehen die vier Verbindungen mit dem Sauerstoff hervor, wenn sich 2 Atome Schwefel mit 2 Atomen oder mit 4 Atomen oder mit 5 Atomen oder mit 6 Atomen Sauerstoff verbinden *). In der letzten Verbindung, welche unter dem Namen Schwefelsäure bekannt genug ist, sind also an

1 Atom Schwefel = 201,
3 Atome Sauerstoff = 300, gebunden, und das Atomengewicht der Schwefelsäure muß = 501 sein.

Eben die Gründe veranlassen zu der Voraussetzung, daß 2 Atome Sauerstoff mit 2 Atomen Eisen (oder 1 Atom mit 1 Atom) verbunden Eisen-Oxydul geben, und 2 Atome Eisen mit 3 Atomen Sauerstoff verbunden, Eisen-Oxyd. Hiernach wären also

1 Atom Eisen = 339
1 Atom Sauerstoff = 100

also ein Atom Eisen-Oxydul = 439, als Atomengewicht des Eisen-Oxyduls. Das Eisen-Oxydul bildet mit der Schwefelsäure das bekannte Salz, den Eisenvitriol, grünen Vitriol, schwefelsaures Eisen-Oxydul, und zwar entsteht dieses aus 501 Gewichtstheilen Schwefelsäure gegen 439 Gewichtstheilen Eisen-Oxydul, so daß man sagen darf, 1 Atom Schwefelsäure verbindet sich mit

*) 1 Atom Schwefel mit 1 Atom Sauerstoff giebt die erste, 1 Atom Schwefel mit 2 Atomen Sauerstoff die zweite, 2 Atome Schwefel mit 5 Atomen Sauerstoff die dritte, 1 Atom Schwefel mit 3 Atomen Sauerstoff die vierte.

1 Atom Eisen-Oxydul. Damit das Salz sich bilde, ist noch ein Zutritt von 670 Gewichtstheilen Wasser nöthig, die 6 Atome Sauerstoff enthalten. Die Verbindung ist also entstanden aus 1 Atom Schwefel, 3 Atomen Sauerstoff zu Schwefelsäure, aus 1 Atom Eisen mit 1 Atom Sauerstoff zu Eisen-Oxydul, und 12 Atomen Wasserstoff mit 6 Atomen Sauerstoff zu Wasser.

Ebenso weisen sich die Atome nach im Kupfervitriol, dem bekannten blauen Vitriol. Er bildet sich aus 1 Atom Kupfer-Oxyd, 1 Atom Schwefelsäure, 5 Atomen Wasser, oder, den Gewichtsverhältnissen nach, aus 496 Gewichtstheilen Kupfer-Oxyd,

501 Gewichtstheilen Schwefelsäure,

562 Gewichtstheilen Wasser,

und in diesen sind verbunden, 396 = 1 Atom Kupfer,

mit 100 = 1 Atom Sauerstoff,

zu 496 = 1 Atom Kupfer-Oxyd.

Ferner: 201 = 1 Atom Schwefel

mit 300 = 3 Atomen Sauerstoff

zu 501 = 1 Atom Schwefelsäure.

Endlich 500 = 5 Atomen Sauerstoff

mit 62 = 10 Atomen Wasserstoff

zu 562 = 5 Atomen Wasser.

Diese Beispiele werden wohl zureichen, um die Veranlassung und den Sinn der Bestimmungen zu zeigen, die man als Atomengewichte der einfachen und der zusammengesetzten Körper aufführt. Daß man da 1 Atom Wasser, bestehend aus 3 Atomen in etwas anderm Sinne nehmen muß, als das Wort: Atom, — untheilbar — eigentlich gestattet, versteht sich von selbst. Daß es manche Schwierigkeiten giebt, welche die Entscheidung, ob man von dem Zutritte eines Atoms oder zweier Atome sprechen soll, betreffen, läßt sich leicht übersehen *). Daß die Frage, wie strenge denn in einzelnen Fällen die chemischen Analysen die Behauptung eines genauen Zusammentreffens der Erfahrung mit diesen Angaben gestatten, die möglichst sorgfältige Beantwortung verdient, und

*) Außer dem, was die Lehrbücher der Chemie hierüber lehren, ist vorzüglich zu vergl. Dumas über einige Puncte in der Atomentheorie. Poggend. Ann. IX. 293.

ähnliche Betrachtungen, kann ich hier nur obenhin andeuten, da der Umfang dessen, was hieher gehört, viel größer ist, als daß es hier, wo nur einige Hauptbetrachtungen erörtert werden sollten, vollständig dargestellt werden könnte.

Auf diese Angabe der Atomenzahl gründet sich eine kurze Bezeichnung der Zusammensetzung der Körper, indem die Anfangsbuchstaben des Namens eines Stoffes mit einer Zahl, welche die Anzahl der Atome angiebt, versehen ist. Da das Oxygen vorzüglich oft vorkömmt, so wird dies durch beigesetzte Puncte angegeben, z. B. $\dddot{S}$ bedeutet, daß 1 Atom Schwefel (Sulphur) mit 3 Atomen Sauerstoff verbunden ist, also bedeutet $\ddot{S}$ Schwefelsäure; ebenso $\dot{C}u$ (Cuprum) 1 Atom Kupfer mit 1 Atom Oxygen, und daher $\dddot{S}.\dot{C}u$ = schwefelsaures Kupfer-Oxyd oder Kupfervitriol, wenn man das Crystallisationswasser nicht berücksichtigt *). Wären hier 2 Atome Schwefelsäure in der Verbindung, so schriebe man $\ddot{S}^2$.

Ich breche diese Darstellung einiger Haupt-Ansichten aus der Chemie ab, um jetzt zu der Lehre vom Lichte überzugehen. Ueber die Theorie des Verbrennens und über die electro-chemische Theorie wird an den Stellen, wo es mehr hin gehört, noch etwas Ausführlicheres vorkommen.

Vierte Vorlesung.

Unter den Erscheinungen, m. h. H., welche wir aus imponderablen Materien ableiten, gehören die Erscheinungen des Lichtes zu den mannigfaltigsten und wundervollsten. Eine große Anzahl dieser Erscheinungen ist uns allen bekannt; wir sind geneigt, sie dem von der Sonne oder andern leuchtenden Körpern ausgehenden Lichte zuzuschreiben, und es so anzusehen, als ob Körperchen, die wir uns als Lichtmaterie denken, von jenen Körpern ausgesendet werden, vom Spiegel zurückgeworfen werden, im Brennpuncte

---

*) Ich bin hier Gmelin gefolgt, einige andre Angaben haben $\dot{C}u.\dddot{S}^2$, weil sie beim Kupfer Doppel-Atome rechnen.

des Brennglases zusammentreffen und so ferner. Ob wir es mit Recht so ansehen, ob alle Erscheinungen dieser Emissionstheorie, welche ein Ausgehen der Lichttheilchen von dem leuchtenden Körper annimmt, gemäß erklärt werden können; — das zu entscheiden, wird eine vollständigere Kenntniß der Erscheinungen erfordert, und diese zu erlangen, muß daher zuerst unser Bestreben sein. Und so wie wir in der Erzählung der täglichen Erscheinungen des Himmels von einer Umdrehung der Himmelskugel um ihre Axe reden, unbekümmert darum, ob dieser Schein einer sich drehenden Sphäre in der That das sei, was unser Auge darin zu erkennen glaubt, ebenso wollen wir hier unbedenklich von Lichttheilchen reden, welche die Erleuchtung der Körper, die sie treffen, welche in unserm Auge die Empfindung des Sehens bewirken, ohne für jetzt die Bedenklichkeiten hervorzuheben, zu welchen die Veranlassung uns jetzt noch ferne liegt.

Die Frage, welche Körper es sind, die sich uns als leuchtend zeigen, unter welchen Umständen sie leuchten, und was sich daraus über das Wesen des Leuchtens, des Licht-Erzeugens, schließen lasse, könnte hier vielleicht den ersten Platz einnehmen; aber da die Umstände des Leuchtens so mannigfaltig sind, da die Erklärung der Entstehung des Leuchtens sich an die Theorieen von der Natur des Lichtes anknüpft, so verschiebe ich die Mittheilung dieser Beobachtungen über Leuchten, Brennen und Phosphorescenz, um zuerst Sie mit den optischen Erscheinungen, mit dem Wege der Lichtstrahlen bekannt zu machen. Und um hier sogleich einige Kunst-Ausdrücke zu erklären, mag hier die Bemerkung voranstehen, daß man Optik im Allgemeinen die ganze Lehre von dem Wege, den die Lichtstrahlen durchlaufen, nennt; daß man aber im engern Sinne nur diejenigen Erscheinungen zur Optik rechnet, wo dieser Weg gerade ist, und hingegen zur Catoptrik die Erscheinungen der Spiegelung, der Reflexion des Lichtes, zur Dioptrik die Erscheinungen, die durch Brechung des Lichtes entstehen, rechnet.

Gradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Schattengrenze.

Das Licht geht in grader Linie von dem leuchtenden Körper aus zu andern Puncten hin. Dieser Erfahrungssatz ist so bekannt, daß wir ohne weitere Ueberlegung geneigt sind, den leuchtenden

Körper in der Richtung zu suchen, wo wir ihn sehen, und daß der mit der Wirkung des Spiegels unbekannte Wilde den Gegenstand, den der Spiegel ihm zeigt, hinter dem Spiegel sucht. Ohne an diesen Satz von der gradlinigen Fortpflanzung des Lichtes zu denken, machen wir unzählige Anwendungen von demselben; denn indem wir beim Feldmessen die Linie an unserm Lineale ziehen, die uns, bei dem Visiren nach einem Gegenstande, als übereinstimmend mit der Richtung nach dem Gegenstande zu angegeben wurde, setzen wir voraus, daß der Lichtstrahl auch wirklich in grader Linie zu uns kam; indem wir beim Nivelliren oder Wasserwägen den Punct, auf welchen unser horizontal gestelltes Fernrohr hinweiset, als gleich hoch mit dem Fernrohre liegend bezeichnen, machen wir eben die Voraussetzung; und hier kann es uns, wie sich späterhin zeigen wird, ganz wohl begegnen, daß wir den Satz von der gradlinigen Fortpflanzung der Lichtstrahlen weiter, als es gestattet ist, anwenden, weil bei großen Entfernungen eine Krümmung des Lichtstrahles eintritt.

Da es eine große Menge von Körpern giebt, welche das Licht nicht durchlassen, so können nur diejenigen Lichtstrahlen, die von einem leuchtenden Körper ausgehend neben dem dunkeln, undurchsichtigen Körper vorbeigehen, weiterhin noch die Wirkung des Lichtes ausüben, Erleuchtung hervorbringen; diejenigen Puncte, zu welchen hin eine von dem leuchtenden Körper ausgehende grade Linie durch den undurchsichtigen Körper geht, erhalten von jenem kein Licht, sie liegen im Schatten des undurchsichtigen Körpers. Die Gestalt des Schattens oder seine Begrenzung wird daher bestimmt, wenn wir von den Grenzen des leuchtenden Körpers an den Umfang des undurchsichtigen grade Linien ziehen und diese weiter hinaus verlängern. Ist der leuchtende Körper so klein, daß wir ihn einen leuchtenden Punct nennen können, so geben alle von diesem Puncte ausgehenden und zugleich den dunkeln Körper berührenden graden Linien die Grenze des Schattens an; für einen größeren leuchtenden Körper dagegen muß man sich eine Ebne an den leuchtenden und den dunkeln Körper berührend gelegt, und an beiden so, daß sie alle Lichtstrahlen ausschließt, immer beide berührend, fortgeführt denken, wenn man die Schattengrenze erhalten will. In diesem Falle, wenn der leuchtende Körper nicht ganz klein ist,

entsteht theils ein vollkommen dunkler, durch gar kein Licht jenes leuchtenden Körpers erhellter, Schatten, theils ein Halbschatten. Ist nämlich AB ein leuchtender Körper (Fig. 19.), CD undurchsichtig, so gelangt in den Raum CDE gar kein Licht; in dem Puncte F erhält man zwar von dem Theile BG des Körpers Licht, aber da noch ein Theil AG verdeckt ist, so kann die Erleuchtung in F noch nicht so vollkommen sein, als sie ohne das Zwischentreten des dunkeln Körpers wäre, F liegt also im Halbschatten; dagegen empfangen Puncte, die von H gegen I zu liegen, Licht von allen Puncten des leuchtenden Körpers, sie liegen im vollen Lichte und die Linie DH begrenzt also den Halbschatten, so wie DE den vollen Schatten begrenzt. Ein Beispiel hiezu geben die Sonnenfinsterniße. Wegen der Kleinheit des Mondes CD (Fig. 19.) werden nur wenige Puncte auf der Erd-Oberfläche in E alles Sonnenlichtes beraubt, so daß sie sich in einer totalen Verfinsterung befinden; ja, wenn die Erde, deren Entfernung vom Monde nicht immer gleich ist, etwas weiter vom Monde entfernt, in K ist, so liegt kein Punct der Erde im vollen Schatten, sondern selbst da, wo des Schattens Mitte hinfällt, sieht man rund um den Mond noch Theile der Sonne, so daß die Sonnenfinsterniß ringförmig ist; aber eine theilweise Sonnenfinsterniß sieht man von K bis H, und dabei ist die Schwächung des Sonnenlichtes desto stärker, der verdeckte Theil der Sonne desto größer, je näher sich der Beobachter bei der Mitte K des Schattens befindet. Bei den Mondfinsterniſſen zeigt sich uns der Halbschatten dadurch, daß der Rand des Erdschattens bei weitem nicht scharf ist, sondern ein verwaschener Rand sich von dem dunkelsten Theile des Schattens bis zu den noch völlig erleuchteten Gegenden des Mondes hin erstreckt, — der Rand des Schattens verwaschen erscheint. Auch bei Gegenständen auf der Erde erkennen wir den sich allmählig verlierenden Halbschatten, z. B. wenn wir einen kleinen Körper der Lichtflamme nahe halten.

Grundsätze der Perspective.

Die Perspective, diejenige Wissenschaft, welche uns die einzelnen Theile der Gegenstände, so wie sie uns erscheinen, zeichnen lehrt, beruht auf diesem graden Fortgange der Lichtstrahlen. Um

nämlich den Umriß eines Gegenstandes so darzustellen, wie er dem Auge erscheint, denken wir uns die Zeichnungstafel vor dem Gegenstande aufgestellt, und von allen im Umfange des abzuzeichnenden Gegenstandes liegenden Puncten grade Linien nach dem Auge gezogen; diese Linien schneiden die Zeichnungstafel und begrenzen auf ihr den Raum, den das Bild jenes Gegenstandes einnehmen muß. Die Hauptregeln der Perspective lassen sich hieraus herleiten. Es sei z. B. (Fig. 21.) **ABCD** eine in der horizontalen Ebne **LM** gezeichnete Figur, die nun auf der Zeichnungstafel **LN** perspectivisch soll aufgetragen werden, so bezeichnen die nach dem Auge **G** gezogenen graden Linien **AG, BG, CG, DG**, die in **E, F, I, H**, die Tafel schneiden, die Eckpuncte der aufzutragenden Figur. Sind hier **AD** und **BC** Linien, die mit der Ebne der Tafel **LN** parallel gehen, so bleiben sie auch in der Zeichnung parallel, sind dagegen **AB, DC**, Linien, die auf der Ebne der Tafel **LN** senkrecht stehen, so scheinen diese sich in ihren entfernteren Theilen einander zu nähern. Wenn man von dem Auge **G** eine Linie senkrecht auf die Tafel zieht, **GK**, so ist **K** der Augenpunct, ein vorzüglich zu beachtender Punct, gegen welchen zu alle auf die Ebne der Tafel senkrechten Linien, wie **AB, DC**, im Bilde auf der Tafel zusammen laufen. Daß dieses so sei, läßt sich durch folgende Betrachtung übersehen. Je weiter man **DC, AB** über **C** und **B** hinaus verlängert, desto höher hinauf erstrecken sich die diese Linien auf der Tafel vorstellenden Abbildungen, aber desto näher rücken sie auch an einander, weil der immer gleiche Abstand **AD, BC**, in größerer Entfernung kleiner erscheint; wären also **AB, DC**, sehr weit verlängert, so träfen ihre Abbildungen fast völlig in dem Puncte **K** zusammen. Auf ähnlichen Gründen beruhen alle perspectivische Regeln, so daß diese ganze Wissenschaft eine rein geometrische ist *).

Um eine Zeichnung genau richtig zu sehen, muß man das Auge in den Punct bringen, wo der Zeichner die Stellung des

---

*) Handbuch der Perspective von J. A. Eytelwein. Berlin 1810. Die freie Perspective, erläutert durch practische Anfgaben und Beispiele hauptsächlich für Architecten und Maler, von J. E. Hummel. Berlin 1824.

Auges annahm. Liegt dieser Punct ziemlich grade vor der Zeichnung und nicht allzu nahe, so erscheint das Bild noch nicht bedeutend unrichtig, wenn man auch das Auge nicht ganz strenge in diesen Punct bringt; aber in manchen Fällen würde das Bild aus einem andern Standpuncte ganz verzerrt, die einzelnen Theile desselben in sehr unrichtigen Verhältnissen erscheinen. Der Maler, welcher ein Deckengemälde an einem Gewölbe zeichnet, nimmt an, daß der, welcher das Gemälde betrachtet, sich unten in O befinde; er wird daher (Fig. 22.) den untern Theil einer Figur B C viel ausgedehnter als den oberen A B zeichnen, wenn beide dem in O befindlichen Auge gleich erscheinen sollen, denn das Auge nimmt die gezeichneten Gegenstände so wahr, als ob sie in a, b, c lägen. Und so wie hier ein Mißverhältniß der Theile in der wirklichen Zeichnung nicht zu vermeiden ist, so ist es in geringerem Maaße auch sonst oft der Fall, zumal bei größeren Gemälden oder bei solchen Zeichnungen, wo die Ungleichheit der Theile, die man als gleich ansehen soll, leicht ins Auge fällt. Man hat Bilder, die absichtlich für eine ungewöhnliche Stellung des Auges gezeichnet sind; und die daher unerträglich verzerrt erscheinen, wenn man das Auge in den gewöhnlichen Standpunct bringt; soll zum Beispiel (Fig. 23.) das Auge in O die Figur a b c d in den richtigen Verhältnissen sehen, so muß ihr oberer Theil c d unnatürlich lang sein, und so in allen ähnlichen Fällen.

Daß wir die einzelnen Theile der in einem Gemälde dargestellten Gegenstände nach Regeln der Perspective beurtheilen, ist bekannt. Wir verlangen, daß der gegen uns ausgestreckte Arm im Gemälde gehörig verkürzt erscheine, daß die Lage aller einzelnen Theile uns schon durch den richtigen Umriß kenntlich werde, und so weiter. Hiebei hat nun freilich der Maler noch weit mehr zu beachten, als die bloße Perspective, indem theils Schatten und Licht, theils selbst gewisse falsche Urtheile, die wir alle machen, berücksichtigt werden müssen, selbst wo es nur auf eine Darstellung ankömmt, die einzig von den Regeln der Perspective abzuhängen scheint.

Sehewinkel. Optische Täuschung.

Von diesen falschen Beurtheilungen muß ich doch einige Beispiele anführen. Wenn wir nach geometrischen oder perspectivischen

Regeln urtheilen, so ist es unfehlbar gewiß, daß ein nicht zu großer, 20 Fuß entfernter Gegenstand uns nur halb so groß im Durchmesser erscheint, als wenn er uns auf 10 Fuß nahe rückt; wir können uns hievon leicht überzeugen, wenn wir an einem vor uns stehenden Maaßstabe vergleichen, wie vielen Theilen desselben der scheinbare Durchmesser eines bestimmten Gegenstandes in beiden Stellungen entspricht; aber unser Urtheil über die scheinbare Größe ist hiervon sehr verschieden, und man überzeugt sich nur mit Mühe, daß der Kopf eines in 20 Fuß Entfernung ins Zimmer tretenden Menschen uns nur ein Viertel so groß im Durchmesser erscheint, als wenn er sich uns bis auf 5 Fuß genähert hat. Wegen dieses falschen Urtheiles kommen uns die Gegenstände in Beziehung auf ihre Größe bedeutend anders vor, wenn wir sie in einem langen, schmalen Raume hinter einander, ihre Entfernungen gleichsam abgemessen, vor uns sehen, als wenn sie im Freien in eben der Anordnung aufgestellt sind. Wenn wir durch mehrere geöffnete Thüren, die gerade hinter einander liegen, sehend, unsere Aufmerksamkeit auf die entfernteste derselben richten, so werden wir es weit mehr gewahr, wie klein sie uns erscheint, als wenn wir im Freien sie in eben der Entfernung angesehen hätten. Die Meinung, daß der Mond uns beim Aufgange größer erscheine, ist nicht allein allgemein verbreitet, sondern beruht auch auf einer so mächtigen Täuschung, daß man, selbst bei der Ueberzeugung, daß es nur Täuschung sei, nicht Herr über sie werden kann. Und doch ist dieses falsche Urtheil nur von eben der Art, wie in den vorhin angeführten Fällen, und jede Messung überzeugt uns, daß der Mond nicht größer erscheint *).

Obgleich also der Sehewinkel, die scheinbare Größe eines Gegenstandes (das ist der Winkel, den die von den Grenzen des Gegenstandes nach dem Auge gezogenen Linien mit einander machen), auf eine so strenge und sichere Weise aus der wahren Größe und aus der Lage und Entfernung bestimmt ist, so befinden wir uns doch in Rücksicht auf die Beurtheilung der scheinbaren Größe in einer durch mancherlei Umstände veranlaßten Unsicherheit. Die Gewöhnung, Gegenstände, welche uns genau bekannt sind, in

*) Vgl. die Vorles. üb. d. Astronomie. I. 80.

ungleichen Entfernungen zu sehen, und dabei nicht auf ihr ungleiches Erscheinen zu achten, ist der Grund der eben erwähnten unrichtigen Urtheile; aber auch andere Umstände können unser Auge täuschen. Es ist eine ziemlich bekannte Behauptung, daß man zuweilen sehr entfernte Gegenstände viel näher gerückt zu sehen glaube, weil man sie mit ungewohnter Deutlichkeit sieht, und dadurch oft zu der Meinung, daß man sie größer sehe, verleitet wird, die gleichwohl ungegründet ist. Nach meinen eigenen Erfahrungen über diese Erscheinungen entstehen sie am öftersten aus der Lebhaftigkeit der Erleuchtung, die uns in Stand setzt, jeden kleineren Theil genau wahrzunehmen, und wir beurtheilen dann die scheinbare Größe nach der Leichtigkeit des Erkennens dieser kleinen Theile. Es ist bekannt, daß wir einen schwarzen Kreis auf rein weißem Grunde in viel größerer Entfernung erkennen, als wenn er auf grauem oder dunkelm Grunde aufgetragen wäre, und in Beziehung auf diese Ueberzeugung werden wir nicht so leicht den auf weißem Grunde aufgetragenen Kreis für größer halten, weil wir schon die Rücksicht hierauf in unser Urtheil mit hinein bringen; aber wenn wir in einem weit entfernten weißen Gebäude jetzt die Fenster und andere durch Farbe oder Schatten unterschiedene Theile deutlich sehen, statt daß sie uns zu anderer Zeit unkenntlich sind, so sind wir geneigt, die jetzt kenntlichen Theile als größer erscheinend anzusehen, obgleich sie nur wegen einer hellern Beleuchtung sich kenntlicher gegen das helle Weiß abstechend zeigen. Diese überraschende Deutlichkeit pflegt besonders dann statt zu finden, wenn bei sehr durchsichtiger, von allem Nebel freier, Luft, die Sonne niedrig stehend die Wände von Gebäuden in senkrechter Richtung bescheint; die alsdann statt findende starke Erleuchtung, die wir durch eine ungetrübte Luft wahrnehmen, gestattet uns, Fenster oder andere dunklere Theile des Gebäudes, obgleich sie bei schwächerer Erleuchtung nicht wahrgenommen werden können, jetzt noch zu sehen, nicht deshalb, weil sie jetzt größer sind, sondern weil so kleine Theile noch kenntlich werden, wenn die Erleuchtung lebhaft genug ist. Um die Umstände, wo diese überraschende Deutlichkeit beobachtet wird, vollständig anzugeben, will ich noch beifügen, daß ein Sonnen-Aufgang, wobei der Beobachter sich im Schatten dunkler Wolken befindet, während ein westwärts liegender Gegenstand lebhaft von

den Sonnenstrahlen erleuchtet wird, vorzüglich geeignet ist, die Erscheinung zu begünstigen. Aber ich habe hier Manches erwähnen müssen, was hier noch nicht genau erklärt werden kann, und muß daher abbrechen, obgleich mehr als eine Erläuterung über die Ungleichheit der Erleuchtung bei verschiedener Richtung des auffallenden Lichtes u. s. w. hier noch beizufügen wäre.

Aber diese Betrachtungen über scheinbare Größe kann ich dennoch nicht ganz abbrechen, da die Frage, wie groß, unter welchem Sehewinkel ein Gegenstand uns erscheinen muß, um noch kenntlich zu sein, hier am besten beantwortet wird. Daß diese Frage keine allgemein gültige Beantwortung gestattet, ist bekannt, und erhellt auch aus dem eben vorhin Angegebenen. Wir nennen dasjenige Auge ein scharfes Auge, welches Gegenstände, die unter einem sehr kleinen Winkel erscheinen, noch erkennt, und für ein solches recht scharfes Auge und unter übrigens günstigen Umständen der Beleuchtung beträgt der kleinste Sehewinkel für einen weißen Gegenstand auf schwarzem Grunde etwa 40 Secunden *), das heißt, eine weiße Stange, auf dunkelm Grunde erscheinend, ist in 500 Fuß Entfernung noch sichtbar, wenn sie 1 Zoll dick ist; — gegen den hellen Himmel sieht man eine dunkle Stange noch bei geringerem Durchmesser, und leuchtende Körper können unter einem Sehewinkel von 1 Secunde (das heißt, wenn sie 200000 mal so entfernt sind, als die Größe ihres Durchmessers) noch sehr wohl kenntlich sein. In dunkler Nacht sind Gegenstände von hinreichend hellem Lichte noch bei viel geringerem Durchmesser kenntlich; denn wir haben Grund, den größern Fixsternen kaum einen Durchmesser von $\frac{1}{150}$ Sec. beizulegen, und doch machen diese noch einen so lebhaften Eindruck auf das Auge.

Bilder der Gegenstände durch grade fortgehende Strahlen.

Die gerade fortgehenden Lichtstrahlen geben uns zuweilen Bilder der Gegenstände, von welchen sie ausgehen. Wenn in ein

---

*) v. Humboldt hält es mit Recht für ein Zeichen ungewöhnlich reiner Luft, wenn man einen weißen Gegenstand noch bei 13 Sec. Sehewinkel erkennt, wie es auf Bergen zuweilen der Fall ist.

dunkles Zimmer das Licht nur durch eine sehr kleine Oeffnung einfällt, so zeigen sich die außerhalb stehenden Gegenstände, wenn sie nur lichtvoll genug sind, auf einer in dem dunkeln Raume der Oeffnung zugekehrten weißen Tafel. Am besten sieht man dies, wenn die Sonne durch jene kleine Oeffnung auf die Tafel scheint. Der von der Oeffnung aus sich immer mehr erweiternde Kegel, den wir als erleuchtet in allen seinen Theilen wahrnehmen, wenn das Zimmer mit Rauch oder Staub erfüllt ist, bringt auf die Tafel eine Erleuchtung, die wir ein Sonnenbild nennen können, einen desto größern erleuchteten Raum, je weiter wir uns mit der weißen Tafel von der Oeffnung entfernen. Dieses Sonnenbild ist rund, selbst wenn die Oeffnung, vorausgesetzt, daß sie klein genug bleibt, nicht rund ist, weil die von den verschiedenen Puncten des Sonnenrandes einfallenden Strahlen jenen Kegel bestimmen. Diesem Umstande ist es zuzuschreiben, daß da, wo die Sonne durch das Laub von Bäumen scheint, sich allemal runde erhellte Flecke zeigen, und nur da die Form der Oeffnungen zwischen den Blättern kenntlich wird, wo diese Oeffnungen schon eine erhebliche Größe erlangen. Wir sind gewohnt, diese erhellten Flecke immer rund zu sehen; aber bei einer Sonnenfinsterniß, wenn der noch übrige Theil der Sonne mondförmig erscheint, zeigen auch jene Sonnenbilder sich mondförmig.

Im dunkeln Zimmer, wo die Entfernung alles fremden Lichtes die Erscheinungen kenntlicher macht, verbindet sich mit diesem Sonnenbilde sehr leicht noch das Bild erhellter Wolken, und wir sehen diese im Bilde auf der Tafel von Osten nach Westen ziehen, wenn sie wirklich ihren Zug von Westen nach Osten nehmen. Es ist nämlich offenbar, daß eine Wolke, etwas westwärts von der senkrecht gegen die Tafel durch die Oeffnung gezogenen Linie stehend, ihr Licht von der Westseite her nach der Oeffnung sendet, und daß dieses also innerhalb des dunkeln Zimmers ostwärts fortgeht und an der Ostseite jener Senkrechten auf der Tafel aufgefangen wird. Geht die Wolke nach der Ostseite hinüber, so rückt die von der Wolke ausgehende Erleuchtung auf der Tafel gegen Westen fort, und das Bild der Wolke erscheint umgekehrt. Bei der Beobachtung glänzender Wolken überzeugt man sich daher leicht, daß man auf der Tafel ein Bild, und zwar ein umgekehrtes Bild der

Gegenstände wahrnimmt, welches jedoch nur dann recht gut sich darstellt, wenn einige Gegenstände sich durch starkes Licht vor andern auszeichnen, — wie dieses vorzüglich bei glänzenden Wolken auf dem dunkeln Blau des Himmels der Fall ist. — Man kann auf diese Weise das dunkle Zimmer benutzen, um Bilder der Gegenstände darzustellen und allenfalls abzuzeichnen, doch dient dazu besser eine später zu beschreibende Einrichtung.

Geschwindigkeit des Lichtes.

Die Frage, in welcher Zeit das Licht bei seinem geradlinigen Fortgange von einem Puncte zum andern gelangt, scheint für den oberflächlichen Beobachter sehr schwer zu beantworten, indem wir uns bald überzeugen, daß die Zeiträume zwischen dem Hervorgehen eines Leuchtens und dem Sichtbarwerden desselben an einem entfernten Puncte, zu kurz sind, um beobachtet zu werden, weshalb denn alle Mittel, deren wir uns bei der Abmessung der Geschwindigkeit des Schalles bedienen, für das Licht als unzulänglich gefunden werden. Aber was auf der Erde, wegen der Beschränktheit der Entfernungen, unmöglich ist, das läßt sich bei den großen Entfernungen der Planeten von der Erde ausführen, wofern es nur da Signale giebt, die zu bestimmten Zeitpuncten gegeben und zu einer etwas spätern Zeit von uns gesehen, Gelegenheit zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes darbieten. Solche Signale sind die Verfinsterungen der Jupitersmonde. Die astronomische Berechnung läßt sich für sie so strenge führen, daß wir den wirklichen Augenblick, wo sie eintreten müssen, und die Zwischenzeiten von einer Verfinsterung bis zur andern, als vollkommen genau bekannt ansehen können; aber diese Zwischenzeiten geben uns nun eben Gelegenheit, die allmählige Fortpflanzung des Lichtes wahrzunehmen. Der erste Jupitersmond, welcher dem Hauptplaneten am nächsten ist, tritt nach immer gleichen Zwischenzeiten (die nur um 4 bis 5 Sec. verschieden sind) in den Schatten des Jupiters **I**, und wenn man diese Verfinsterungen während die Erde in **E** (**Fig. 20.**) ist, beobachtet, so sieht man sie immer nach den berechneten Zwischenzeiten eintreten. Hier bei **E** nämlich bleibt die Erde mehrere Tage lang dem langsam fortrückenden Jupiter **I** ziemlich gleich nahe, und das Licht hat daher bei allen Verfinsterungen gleich lange Zeit nöthig,

um zu uns zu gelangen, so daß wir, obgleich die Verfinsterung später von uns gesehen wird, als sie eintritt, doch diesen Zeitverlust in der Zwischenzeit der Verfinsterungen nicht wahrnehmen. Ist hingegen die Erde nach G gekommen, wo sie sich von F nach G vom Jupiter täglich mehr entfernt, so verspätet sich der beobachtete Anfang der Verfinsterung bei jeder folgenden Verfinsterung immer mehr. Zwischen zwei nächsten Verfinsterungen des ersten Mondes vergehen 42 Stunden und 28 bis 29 Minuten, und in dieser Zeit vergrößert sich die Entfernung der Erde vom Jupiter ungefähr um 630000 Meilen; gebrauchte also der letzte, vor der Verfinsterung von dem Monde ausgehende Lichtstrahl eine gewisse Zeit, um nach F zu gelangen, so braucht er bei der folgenden Verfinsterung etwas mehr Zeit, um nach G zu gelangen, und die Zwischenzeit des Anfanges der Finsternisse ist daher größer. Diese Vergrößerung der Zwischenzeit beträgt ungefähr 15 Secunden, und so viel Zeit verwendet also das Licht, um 630000 Meilen zu durchlaufen. Die entgegengesetzte Beobachtung findet statt, wenn die Erde sich in der Gegend HK ihrer Bahn dem unterdeß langsam fortrückenden Jupiter nähert; hier sehen wir jede folgende Verfinsterung etwas eher eintreten, und der Zeit-Unterschied ist eben so der unterdeß erfolgten Annäherung der Erde zum Jupiter angemessen, wie im andern Falle der größer werdenden Entfernung. Und indem wir so zu der Kenntniß gelangt sind, daß das Licht ungefähr 40000 Meilen in einer Secunde durchläuft, ergiebt nun jede Beobachtung eine Prüfung und eine Bestätigung dieser Angabe. Wir wissen nämlich nun, daß wir in E den Eintritt in den Schatten oder den Austritt aus dem Schatten auch nicht dann sehen, wenn er statt findet, sondern ungefähr 35 Minuten später; wir berechnen diese Verzögerung für die in F, G, L, beobachteten Austritte aus dem Schatten und für die in M, H, K, beobachteten Eintritte in den Schatten nach dem Maaße der jedesmaligen Entfernung, und die Beobachtung zeigt, daß diese berechnete Zeit, wobei auf die Fortpflanzung des Lichtes Rücksicht genommen ist, wirklich die ist, die der Wahrheit gemäß ist.

Der Himmel bietet uns noch eine Erscheinung dar, welche uns über die zwar sehr schnelle, aber doch allmählige Fortpflanzung des Lichtes belehrt, nämlich die Aberration des Lichtes der

Fixsterne; aber da die Erklärung, woher diese entsteht, mehr in die Astronomie gehört, so will ich mich hier begnügen, bloß zu bemerken, daß auch diese Erscheinung auf eine eben so große Geschwindigkeit des Lichtes führt, und daß wir 41700 Meilen als den Weg des Lichtes in 1 Sec. angeben können *). Das Licht hat daher $8\frac{1}{4}$ Min. nöthig, um von der Sonne zu uns zu kommen, $2\frac{2}{3}$ Stunden, um von dem entferntesten Planeten des Sonnensystems zu uns zu gelangen, und mehr als 6 Jahre, um den Weg von dem nächsten Fixsterne bis zu uns zu durchlaufen. Diese Zahlen geben zugleich den deutlichsten Begriff von der unermeßlichen Größe des Weltgebäudes, da das Licht so schnell ist, daß die Geschwindigkeit des Schalles nur ungefähr dem 900000sten Theile derselben, die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn dem 10200sten Theile der Geschwindigkeit des Lichtes gleichkömmt.

Abhängigkeit der Erleuchtung von der Entfernung und dem Einfallswinkel. — Photometrie.

Der geradlinige Fortgang des Lichtes führt uns zur Kenntniß der in größeren Entfernungen geringeren Wirkungen des Lichtes. Diese Wirkung des Lichtes nennen wir Erleuchtung, und wir werden nun zu der Frage veranlaßt, ob es denn Mittel gebe, den Grad der Erleuchtung zu bestimmen. Wenn wir die Erleuchtung, welche durch einen leuchtenden Punct hervorgebracht wird, theoretisch zu vergleichen, ihre in verschiedenen Fällen statt findende Größe zu bestimmen suchen wollen, so werden wir sie gewiß als desto größer annehmen, je mehr Lichtstrahlen wir auf denselben Raum auffallend finden; nun ist aber offenbar, daß (Fig. 24.) die von dem Licht aussendenden Puncte S erleuchtete Fläche ABCD einen viermal so großen Raum, als sie selbst beträgt, EFGH, beschattet, wenn man den Schatten in der doppelt so großen Entfernung, SE = 2. SA auffängt, daß in der dreifachen Entfernung SI die

*) Die Erklärung der Abirrung des Lichtes setzt voraus, daß man von der großen Entfernung der Fixsterne und der eben deswegen ganz unmerklichen Parallaxe überzeugt sei, und ich kann sie hier um so eher übergehen, da sie in den Vorlesungen über die Astronomie, 2. Th. S. 210. vorkömmt.

beschattete Fläche neunmal so groß ist, u. s. w. oder mit andern Worten, dieselbe Zahl von Lichtstrahlen, welche **ABCD** erleuchtet, wird in der doppelten Entfernung eine vierfach so große Fläche, in der dreifachen Entfernung eine neunmal so große Fläche erleuchten, wenn man die Lichtstrahlen ungehindert bis nach **EFGH** oder **IKLM** gelangen läßt; also ist die Erleuchtung jedes Theiles, jedes einzelnen Punctes der Fläche **EFGH** nur ein Viertel so groß in der doppelten Entfernung, nur $\frac{1}{9}$ so groß in der dreifachen Entfernung, nur $\frac{1}{16}$ so groß in der vierfachen Entfernung u. s. w. Die Erleuchtung nimmt also ab, wenn die Entfernung zunimmt, und dies nicht in dem einfachen Verhältnisse der Entfernungen, sondern im Verhältnisse der Quadrate der Entfernungen.

Diese theoretisch gefundene Bestimmung läßt sich mit der Erfahrung vergleichen. Wenn wir zwei gleich hell brennende Lichter dicht neben einander aufstellen, so ist es gewiß, daß die Erleuchtung einer in bestimmter Entfernung und Lage aufgestellten Ebene doppelt so groß ist durch diese zwei Lichter, als durch eines, und wir besitzen also ein Mittel, die doppelte, dreifache, vierfache Erleuchtung nach Willkür zu bewirken; können wir diese so hervorgebrachten Erleuchtungen also mit einer andern Erleuchtung vergleichen, so bietet sich uns ein Mittel dar, die Wahrheit der theoretischen Bestimmung zu prüfen. Unser Auge besitzt nicht die Fähigkeit, bei der Betrachtung zweier erleuchteter Flächen zu entscheiden, ob die eine doppelt oder dreifach so stark, als die andere, erleuchtet ist, aber es besitzt die Fähigkeit, Gleichheit oder Ungleichheit der Erleuchtung recht wohl zu erkennen. Um daher jene Bestimmung zu prüfen, stellt man in **AB** (**Fig. 25.**) eine weiße Fläche auf, die ihre Erleuchtung von den zwei Lichtern **C** und von dem einen Lichte **D** in beinahe senkrechter Richtung empfängt; zwischen der Ebene **AB** und jenen Lichtern stellt man den undurchsichtigen Körper **EF** so auf, daß sein Schatten vom Lichte **D** her in **ab**, sein in Beziehung auf die Lichter **C** entstandener Schatten in **cd**, nahe daneben fällt. Es ist leicht zu übersehen, daß nach **ab** zwar die Erleuchtung durch die zwei Lichter **C** und nach **cd** zwar die Erleuchtung durch das eine Licht **D** gelangt, daß aber jeder dieser Schatten **ab**, **cd**, doch als minder erleuchtet kenntlich wird, weil ihm die Erleuchtung von **D** oder von **C** mangelt. Unser Auge erkennt hier leicht, ob die

dem einen Lichte **D** oder die den zwei Lichtern **C** zugehörende Erleuchtung die stärkere ist, und wenn man **D** so lange näher rückt oder weiter entfernt, bis das Auge die Erleuchtung beider beschatteter Räume als gleich erkennt, so hat man das beabsichtigte Experiment vollendet. Der wirkliche Versuch zeigt, daß die Entfernung **DH** sich zu **CH** wie 5 zu 7 verhalten muß, wenn die Erleuchtung durch ein Licht **D** eben so stark, als durch zwei Lichter **C** sein soll, und da 5 mal 5 = 25, 7 mal 7 = 49, die letztere Zahl fast genau die doppelte der ersten ist, so giebt das Experiment eine Bestätigung des oben gefundenen Satzes. Hätte man in **C** vier Lichter vereiniget, so müßte **DH** nur halb so groß sein, als **CH**, weil *ein* Licht in der halben Entfernung viermal so stark erleuchtet, als *ein* Licht in der ganzen Entfernung.

Diese *eine* photometrische Bestimmung leitet uns zu mehreren. Schon eine sich von selbst darbietende Erfahrung lehrt uns, daß die Erleuchtung schwächer wird, wenn wir das Licht unter einem kleinen Winkel auf die erleuchtete Ebene fallen lassen, und wir fragen daher auch hier nach dem Gesetze der Erleuchtung, sofern sie von dem Einfallswinkel der Lichtstrahlen abhängt. Sehen wir auf die Menge der Lichtstrahlen, so erhellt leicht, daß die Ebene **AB** (**Fig. 26.**) nur von eben so vielen Lichtstrahlen, als **AC**, getroffen wird, wenn **aA**, **bB** die von dem leuchtenden Puncte herkommenden Lichtstrahlen sind; ist also die schiefe Fläche **AB** doppelt so groß, als **AC**, so ist **AB** in jedem Puncte nur halb so stark erleuchtet, als es **AC** sein würde, wenn **AC** eine die Strahlen auffangende Ebene wäre. Der Versuch, den man auf ähnliche Weise, wie den vorigen, durch Vergleichung zweier Schatten anstellen kann, bestätigt diese Behauptung; würde er so angestellt, daß ein Licht die Fläche in senkrechter Richtung erleuchtete, eines dagegen in sehr schiefer Richtung, so würde das senkrecht erleuchtende Licht viel weiter als das andere hinausgerückt werden müssen, damit die Erleuchtung als gleich erscheine. Die vorhin angeführten Erfahrungen über den lebhaften Glanz eines in senkrechter Richtung von der Sonne beleuchteten Gegenstandes erhalten hierdurch ihre vollkommene Erklärung.

Andre photometrische Untersuchungen.

Die hier so eben betrachteten Vergleichungen der Erleuchtung heißen photometrische Untersuchungen, weil sie uns den Grad der Erleuchtung kennen lehren, oder das Licht abmessen, welches uns in der Erleuchtung kenntlich wird. Photometer sind die Werkzeuge, die hiezu dienen, und das einfachste Photometer wäre also das, wo durch Vergleichung der beiden Schatten, das ist, durch Vergleichung der von einer Lichtquelle und von der andern Lichtquelle erleuchteten Flächen, die Gleichheit der Erleuchtung bestimmt, und dann durch Abmessung der Entfernungen das berechnete Maaß der Erleuchtung angegeben wird. Wenn wir zum Beispiel die Erleuchtung, so wie sie durch ein Wachslicht von bestimmter Art bewirkt wird, wenn dieses aus 1 Fuß Entfernung eine Fläche senkrecht erleuchtet, als Maaß für andere Erleuchtungen zum Grunde legen; so läßt sich mit Hülfe eines solchen Photometers die Erleuchtung für andere Fälle finden. Wir wollen wissen, wie vielfach die Erleuchtung durch eine hell brennende Lampe größer ist, als durch jenes Wachslicht, so stellen wir Lampe und Wachslicht so auf, daß sie beinahe senkrecht die Stelle der weißen Tafel erleuchten, wohin der schmale Schatten fällt; wir entfernen nun die hell brennende Lampe, und wenn wir sie bis zu 7 Fuß entfernen müssen, damit die Erleuchtung so groß sei, wie durch das 1 Fuß entfernte Wachslicht, so eignen wir ihr mit Recht eine Intensität des Lichtes 49 mal so groß, als die des Wachslichtes zu *). Rumford hat an diese Abmessung andere Betrachtungen geknüpft, welche das ökonomisch Vortheilhafte bei verschiedenen Lichtern betreffen, und fand so, daß eine Lampe, die 9 Wachslichtern gleich kam, nur $5\frac{1}{2}$ Loth Oel in eben der Zeit verzehrte, worin das Wachslicht 1 Loth Wachs, also 9 Wachslichter 9 Loth Wachs gebrauchen.

Ritchie hat folgende, der Hauptsache nach ähnliche Einrichtung des Photometers vorgeschlagen. Man stellt eine kleine weiße Tafel auf, die in der Mitte durch eine senkrecht gegen sie befestigte schwarze Platte AB (Fig. 83.) in zwei Hälften getheilt ist. Bei

---

*) Vgl. Rumfords Versuche mit einer Lampe, die 52 Wachslichtern gleichkam. Gilb. Ann. XLVI. 244.

DB, EB bringt man zwei gleiche und gleich gestellte Spiegel an. Stellt man nun die beiden zu vergleichenden Lichter an beiden Seiten etwa in **F, G,** auf, so läßt sich aus der größern Entfernung des einen oder des andern Lichtes auf die Intensität der von ihm ausgehenden Erleuchtung schließen. — Mir scheint indeß, daß man lieber die Spiegel weglassen, und die Lichter in gleicher Winkelrichtung ihre Strahlen auf die weiße Tafel sollte senden lassen, indem dann die Berechnung desto einfacher wird. Die schwarze Trennungsfläche bewirkt, daß jede Hälfte nur die dem einen Lichte zugehörende Beleuchtung erhält, und das Auge, welches beide Hälften zugleich betrachtet, urtheilt hier genau so wie im vorigen Versuche.

Eine ähnliche photometrische Untersuchung lehrt uns den Grad der Durchsichtigkeit eines Körpers kennen. Wenn zwei ganz gleich brennende Lichter gleich weit von der erleuchteten Fläche stehen, so erscheinen die halb erleuchteten Schatten gleich; bringt man aber eine Glasscheibe zwischen das eine Licht und die erleuchtete Tafel, so muß man das so geschwächte Licht näher rücken, um die Gleichheit der Erleuchtung herzustellen. Man kann hieraus die Reinheit des Glases beurtheilen, man kann entscheiden, wieviel von dem verlohrnen Lichte an der Oberfläche, wieviel beim Fortgange im Innern des Glases verlohren geht, indem man bald eine einzige 5 mal so dicke Glasplatte, bald 5 dünne Glasplatten anwendet; — die Erfahrungen an unsern Doppelfenstern zeigen uns schon, daß zwei dünne Glasplatten weit mehr verdunkeln, als eine dicke Glasplatte.

Aber auch zu theoretischer Bestimmung bieten die obigen Hauptgesetze eine Menge von Anwendungen dar. Eine einfache, hieher gehörige Frage ist die, wie ich ein höher oder tiefer zu stellendes Licht **B**, während es in der Verticallinie **CB** bleibt, stellen muß, (**Fig. 27.**) damit es in der Gegend **A** die horizontale Fläche **A** am besten erleuchte. Bei größerer Höhe nimmt die Erleuchtung in **A** wegen der größern Entfernung ab, aber wegen des vortheilhafteren Winkels nimmt sie zu, und man findet, daß der Winkel **BAC = 35°** sein muß, damit die Erleuchtung am vortheilhaftesten sei, **BC** muß = **7** sein, wenn **AC = 10** ist.

In manchen Fällen haben wir nicht eine von einem einzigen Puncte ausgehende Erleuchtung; aber auch dann läßt sich eine Berechnung, die ich hier nur oberflächlich angeben kann, anstellen. Wenn eine horizontale Fläche durch die Fenster eines Zimmers erleuchtet wird, und diese Erleuchtung bloß vom hellen Himmel ausgeht, dessen Licht wir als in allen Puncten gleich ansehen, so müßte für jeden Theil des durch das Fenster sichtbaren Himmels die dem schiefen Einfallen der Strahlen und der Größe jedes Theiles angemessene Erleuchtung für eine bestimmte Stelle berechnet werden, und die Summe dieser Erleuchtungen gäbe das, was wir zu haben verlangen. Mit Hülfe solcher Berechnungen, die eine größere Schärfe gestatten, als wir in ähnlichen Fällen zu fordern pflegen, könnte man im Voraus beurtheilen, ob eine veränderte Wohnung oder eine veränderte Stellung des Tisches, auf dem ich schreibe, mir in Hinsicht der Tageshelligkeit mehr oder mindere Beleuchtung gewähre. Alle Umstände lassen sich dabei freilich nicht wohl berücksichtigen, indem die Wände der benachbarten Häuser, der weiße oder farbige Anstrich des Zimmers, sehr erheblich mit einwirken; indeß ist es doch angenehm, zu übersehen, welche Bestimmungen sich uns hier darbieten. Zum Schlusse dieser Betrachtung will ich noch beifügen, daß eine horizontale Fläche durch den ganzen hellen Himmel, wenn dessen Licht im Freien durch nichts aufgehalten wird, grade halb so sehr erleuchtet wird, als es geschehen würde, wenn alle von der Halbkugel des Himmels auffallenden Lichtstrahlen senkrecht auffielen.

Auch auf astronomische Gegenstände findet eine Anwendung dieser photometrischen Regeln statt. Der Planet Jupiter ist 5 mal so weit als die Erde von der Sonne entfernt, also wird eine dort den Sonnenstrahlen senkrecht dargebotene Ebne nur $\frac{1}{25}$ so stark erleuchtet, als auf der Erde; auf der Venus hingegen, deren Entfernung von der Sonne nur $\frac{3}{4}$ der Entfernung der Erde von der Sonne ist, muß die Erleuchtung beinahe doppelt so groß, als auf der Erde, sein; und obgleich wir, bei unserer Unkunde über Farbe und sonstige Beschaffenheit der Planeten-Oberflächen, noch keine weitere Vergleichungen auf diese Bestimmung gründen können, so erklärt sich doch das glänzende Licht der Venus und des der Sonne noch näheren Mercurius aus dieser Betrachtung.

Wie die Erleuchtung von der Lage der leuchtenden Oberfläche abhängt.

Wir haben die Erleuchtung bisher nur in Beziehung auf die Entfernung und Lage der erleuchteten Fläche untersucht; aber sie hängt auch von der Lage der leuchtenden Oberfläche ab. Wenn wir uns ein leuchtendes Quadrat denken, und als solches kann eine weiße, von der Sonne senkrecht beschienene Tafel uns dienen, so bemerken wir keinen Unterschied in der Intensität des Glanzes, wir mögen senkrecht auf die Tafel blicken oder uns mehr seitwärts stellen, das heißt, jeder einzelne Theil der Tafel kömmt uns gleich blendend, unser Auge in gleichem Grade rührend, vor, bei der einen und bei der andern Stellung. Aber die scheinbare Größe des leuchtenden Quadrates nimmt ab, wenn ich auf die Seite trete, und da von jedem scheinbar gleich großen Theile, nach dem Urtheile unsers Auges, gleich viel Licht ausgeht, so muß die Erleuchtung, durch die ganze quadratische Fläche hervorgebracht, abnehmen. In diesem Beispiele übersehen Sie zugleich den Unterschied dessen, was man gesehene Helligkeit, oder wahre Intensität des Lichtes, und was man gesammten Glanz, auch wohl Lichtstärke, nennt. Die gesehene Helligkeit bleibt bei jener glänzenden Quadratfläche gleich für jede Stellung des Auges, aber der gesammte Glanz, der Eindruck, welchen alle Theile der Fläche vereint auf das Auge hervorbringen, und eben deswegen auch die Erleuchtung, die einem Körper durch dieses auffallende Licht zu Theil wird, nimmt ab, so wie die scheinbare Größe abnimmt. In Beziehung hierauf sagen wir zum Beispiel, das funkelnde Licht des Sirius sei glänzender, habe mehr gesehene Helligkeit, als das Licht des Mondes, dessen gesammter Glanz gleichwohl mehr beträgt, als der des Sirius. Hätte jeder Punct des Mondes den blitzenden Glanz, wie der Sirius, so würde das Licht des Mondes vielleicht dem der Sonne nichts nachgeben.

Die Behauptung, daß der gesehene Glanz, die Intensität des Lichtes, für jede scheinbar gleich große Flächentheile in der Entfernung nicht abnimmt, hat im ersten Augenblicke etwas Auffallendes, weil man so leicht geneigt ist, die Wirkung, die sich uns in der ganzen Erleuchtung zeigt, mit der Intensität in jedem scheinbar gleich großen Theile zu verwechseln. Es ist ganz gewiß,

daß eine zehnmal so weit hinausgerückte Lichtflamme uns nur ein Zehntel so hoch und ein Zehntel so breit erscheint, als in der nähern Stellung, und deshalb ist die Erleuchtung nur ein Hunderttel derjenigen Erleuchtung, welche von eben der Lichtflamme in der nähern Stellung hervorgebracht wurde; aber die scheinbare Helligkeit jedes Theiles ist gleich. Denn, wenn bei der ersten Stellung der Lichtflamme eine Quadratlinie, ein Raum von 1 Linie lang und breit, uns in Hinsicht auf Länge und Breite unter einem gewissen Sehewinkel erschien, so ging die, diesem Sehewinkel entsprechende, gesehene Helligkeit nur aus dem Lichte einer Quadratlinie hervor; ist dagegen die Flamme zehnmal so weit hinausgerückt, so tragen 100 Quadratlinien der Flamme zu dem Lichte bei, welches uns in eben dem scheinbaren Raume, eben dem Sehewinkel entsprechend, erscheint, und so kann es nicht anders sein, als daß die Intensität des Lichtes dieselbe bleibt. Dem Saturnbewohner erscheint daher, abgesehen davon, daß vielleicht eine den Weltraum erfüllende feine Materie das Licht schwächen mag, die Sonne ebenso blendend als uns, obgleich ihre Scheibe ihm nur ein Hunderttel mal so groß erscheint, das heißt, wenn wir durch eine Oeffnung nur einen Theil der Sonne, ein Zehntel so groß im Durchmesser als die ganze Sonne, sehen, so stellt dieser Theil der Sonne uns ein genaues Bild dessen dar, was wir auf dem Saturn beim freien Anblicke der Sonne sehen würden.

Nach diesen Ueberlegungen beurtheilen wir den ganzen Eindruck, den das Licht der verschiedenen Planeten auf unser Auge machen müßte, wenn sie alle, als ihrer Natur nach gleich, zum Beispiel alle gleich weiß, uns ihre Erleuchtung gleich gut zeigten. Saturn ist ungefähr 10 mal so weit als unser Mond von der Sonne entfernt, also jeder Theil seiner Oberfläche $\frac{1}{100}$ so stark als die des Mondes erleuchtet; aber da er uns nur 19 Secunden im Durchmesser zu haben scheint, also seine Scheibe uns nur ungefähr $\frac{1}{10000}$ so groß als die Mondscheibe erscheint, so giebt er uns nur so viel Erleuchtung, als der zehntausendste Theil der Mondscheibe mit ein Hunderttel des Mondlichtes thun würde, das heißt nur ein Milliontel der Erleuchtung, welche der Mond uns giebt. — Daß diese Abschätzungen indeß nur oberflächlich sein können, da wir

nicht wissen, ob nicht die Oberfläche des Saturns schneeweiß, die des Mondes grau ist, versteht sich von selbst.

Ich schließe diese Bemerkungen, zu denen schon die Betrachtung des gradlinigt fortgehenden Lichtes Veranlassung gab, um zu den noch mannigfaltigeren Erscheinungen des zurückgeworfenen Lichtes überzugehen.

Fünfte Vorlesung.

Zurückwerfung des zerstreuten Lichtes an den Oberflächen der Körper.

Die Erscheinungen, welche das Licht uns darbietet, m. h. H., sind uns allen in so großer Mannigfaltigkeit bekannt, daß es wohl eben nicht als eine Verletzung der wissenschaftlichen Anordnung des Vortrages erscheinen wird, wenn ich zuweilen Erscheinungen erwähne, deren Entstehung noch nicht genau erklärt ist. In Hinsicht hierauf habe ich kein Bedenken getragen, von der Beobachtung einer gleichen oder ungleichen Erleuchtung zu reden, ohne Sie schon darauf aufmerksam zu machen, daß wir diese Erleuchtung vermittelst des von den Körpern zu unserm Auge zurückgeworfenen Lichtes wahrnehmen; auf ähnliche Weise werde ich die Umstände, wodurch unser Sehen möglich wird, erst viel später erklären können, obgleich ich vom Sehen schon hier, als von etwas Bekanntem, reden muß. Aber nachdem wir die Erscheinungen, welche der gradlinigte Fortgang der Lichtstrahlen uns darbietet, umständlich betrachtet haben, ist es Zeit genauer zu fragen, wie denn die an sich dunkeln Körper uns durch die empfangene Erleuchtung sichtbar werden? Wir sind gewohnt, dies so anzusehen, als ob nun auch von ihnen Lichtstrahlen ausgehen; sie werfen das empfangene Licht zurück, auch sie senden nun Licht aus, aber thun dieses nur vermöge der von andern Körpern empfangenen Erleuchtung, und nach dem Maaße dieser Erleuchtung, jedoch so, daß sie lange nicht so viel Licht zurückwerfen, als sie empfingen, und daß sie nach Verschiedenheit ihrer Beschaffenheit einen geringern oder größern Theil des

auf sie fallenden Lichtes zurückgeben. Die weißen Oberflächen geben mehr Licht zurück, als die grauen, und eine schwarze Oberfläche zeigt, je schwärzer sie erscheint, desto weniger erleuchtende Wirkung; — das völlige Schwarz würde uns da erscheinen, wo gar keine Lichtstrahlen zurückgeworfen würden. Da von den Farben der Körper hier noch nicht geredet werden kann, so giebt diese zerstreute Zurückwerfung des Lichtes uns nur zu wenigen näheren Untersuchungen Veranlassung.

Wir legen den weißen Flächen und denen, die in das Graue übergehen, einen verschiedenen Grad der Weiße bei, und verstehen eben darunter ihre ungleiche Fähigkeit, das Licht zurückzuwerfen. Diesen Grad der Weiße zu beurtheilen, könnte folgendes Experiment, das schon hier verständlich ist, dienen. Es ist bekannt, daß selbst ein graues Papier unserm Auge recht lebhaftes Licht zurückgiebt, wenn es eine starke Erleuchtung empfängt, und ein sehr weißes Papier neben einem nicht so weißen könnte durch verschiedene Erleuchtung unserm Auge als ziemlich nahe diesem gleich an Glanz erscheinen; da wir nun die Erleuchtung ihrem Grade nach berechnen können, so würden wir dem Papiere nur die Hälfte der Weiße beilegen, das bei doppelt so lebhafter Erleuchtung uns nur eben so hell als das andre erschiene. Auf diesem Wege können wir nicht allein, — worüber unser Auge sogleich entscheidet, — die größere oder mindere Weiße beurtheilen, sondern in Vergleichung gegen einen bestimmten Körper, z. B. frisch gefallenen Schnee, könnten wir auch nach einem sichern Maaßstabe das beurtheilen, was uns nicht unmittelbar vor Augen liegt, wenn ein Andrer diese Vergleichung angestellt hat. So beurtheilen wir indeß nur vergleichend die Weiße des einen Körpers gegen die des andern, und die Frage, wieviel von dem empfangenen Lichte jeder zurückwirft, bleibt unentschieden; ein Experiment, das darüber Entscheidung gäbe, kann ich erst später anführen, und muß mich hier begnügen zu sagen, daß selbst das weißeste Papier nur etwa die Hälfte der Lichtstrahlen zurückwirft, oder nur diejenige Erleuchtung für eine andre Fläche, nur denjenigen Eindruck auf unser Auge hervorbringt, der von der Hälfte des auf die weiße Fläche auffallenden Lichtes unmittelbar hervorgebracht würde.

Eine merkwürdige astronomische Frage hat man hieran geknüpft, nämlich welcher Grad der Weiße den verschiedenen Planeten eigen ist. Es giebt Zeitpuncte, wo der Mars uns ziemlich eben den gesammten Licht-Eindruck gewährt, wie Saturn, und da sich aus der Entfernung beider Planeten von der Sonne und aus ihrer scheinbaren Größe bestimmen läßt, welcher von beiden am meisten gesammten Glanz zeigen sollte, wenn sie das Licht gleich gut zurückwürfen, so ergiebt sich, welcher von beiden Planeten am meisten geschickt ist, das Licht zurückzuwerfen. Saturn scheint nach diesen Vergleichungen eine größere Weiße zu besitzen, und überhaupt scheint sich zu ergeben, daß die von der Sonne entfernteren Planeten mehr Licht zurückwerfen.

Diese Zurückwerfung des Lichtes von festen Körpern findet, mehr oder weniger vollkommen, an der Oberfläche aller Körper statt, und das so nach allen Richtungen zerstreute Licht ist es, wodurch uns die an sich dunkeln Körper sichtbar werden. An polirten Oberflächen dagegen findet bekanntlich eine regelmäßige Zurückwerfung des Lichtes statt, eine Spiegelung, deren Gesetze eine genauere Erklärung fordern.

Gesetze der Reflexion des Lichtes im ebnen Spiegel.

Wenn ein Lichtstrahl an eine ebene, polirte Fläche antrifft, so zeigt die Erfahrung, daß er unter eben dem Winkel zurückgeworfen wird, unter welchem er auffiel, und daß er bei seiner Reflexion in eben der gegen die spiegelnde Ebne senkrechten Ebne bleibt, in welcher er auffiel. Ist nämlich **AB** (Fig. 28.) die Spiegelfläche, **CD** der einfallende Strahl und **DG** die auf die Spiegel-Ebne senkrechte Linie, welche man das Einfallsloth nennt, so liegt der zurückgeworfene Strahl **DE** in der durch **CDG** gelegten Ebne und die Winkel **CDG**, **EDG** sind gleich. Hieraus folgt eine leichte Regel, wie man die Richtung bestimmt, nach welcher hin man sehen muß, um das Bild eines Gegenstandes **C** im Spiegel zu sehen. Man zieht nämlich von dem Gegenstande **C** eine Senkrechte **CF** auf den Spiegel, verlängert sie, bis **FH = CF** ist, und **H** ist dann der Punct, wohin jedes Auge sich richten muß, wenn es den Gegenstand **C** im Spiegel sehen will. Es ist offenbar, daß von **C** aus Lichtstrahlen nach allen Richtungen, nach **CD**, **Cd**,

C d¹ auf den Spiegel fallen; sie alle werden unter einem, ihrem Einfallswinkel gleichen, Winkel nach D E, d e, d¹ e¹ reflectirt, und die zurückgeworfenen Strahlen haben, wegen dieser Gleichheit der Winkel C d A = e d B = A d H, die Richtung, als ob sie alle von H herkämen. Man nennt daher H das Bild des Gegenstandes, weil, obgleich in H hinter dem Spiegel nichts Reelles vorhanden ist, doch alle Augen sich nach diesem Puncte richten, um den gespiegelten Gegenstand zu sehen.

Auf dieser Bestimmung des Bildes beruhen einzelne, leicht zu erklärende Erscheinungen. Zum Beispiel, wenn ein grader Stab senkrecht auf dem Spiegel steht, so erscheinen Bild und Gegenstand als ein einziger grader Stab. Wenn ein grader Stab einen halbrechten Winkel mit dem Spiegel macht, so scheint das Bild einen rechten Winkel mit dem Stabe zu machen. Wenn mein Auge auf das im Spiegel erscheinende Auge eines Andern gerichtet ist, so scheint das Bild meines Auges aus dem Spiegel heraus jenen Andern anzusehen.

Bei unsern gewöhnlichen Glasspiegeln zeigen sich uns immer doppelte, auch wohl mehrfache Bilder. Hier sind nämlich zwei das Licht zurückwerfende Flächen, indem auch die Vorderseite des Glases einige Lichtstrahlen reflectirt, wenn gleich die mehr Licht zurückwerfende, mit dem Amalgam belegte Hinterfläche uns das lebhafteste Bild darstellt. Es sei H I (Fig. 29.) die Dicke des Spiegelglases H I G E, A sei der leuchtende Punct, so liegt das der Vorderfläche entsprechende Bild in K, das der Hinterfläche entsprechende Bild in L, wenn K so weit hinter H, L so weit hinter I liegt, als A vor der einen und vor der andern Fläche, A H = H K, A I = I L. Das Auge in O erhält also einen von B und einen von C aus zurückgeworfenen Lichtstrahl und der letztere macht den lebhafteren Eindruck. Ist der Spiegel an der hinteren Seite so geschliffen, daß seine Hinterseite mit der Vorderseite parallel ist, so müssen, wenn man das Auge von O gegen o zu bewegt, beide Bilder einander regelmäßig begleiten, das heißt, der Winkel zwischen den beiden reflectirten Strahlen B O, C O ist bei o nicht erheblich von dem bei O verschieden. Dagegen wenn die Hinterseite, so wie bei E F, unregelmäßig ist, der Spiegel zwar bis E parallele Flächen hat, aber gegen F zu dünner wird, so liegt das der Fläche

EF entsprechende Bild in M, (nämlich so weit hinter der nach N verlängerten FE, als A vor derselben liegt, AN = NM) und das Auge in P sieht die Bilder auffallend weiter aus einander gerückt, als es in O, o, der Fall war. Wir bemerken diese ungleiche Fortrückung der Bilder sehr oft in unsern Spiegeln. Der scheinbare Abstand beider Bilder von einander läßt uns zugleich über die Dicke des Spiegels urtheilen, indem ein ganz nahe an der Oberfläche des Spiegels gehaltener Gegenstand uns sein erstes Bild unmittelbar hinter der Vorderfläche, sein zweites Bild aber um die doppelte Dicke des Spiegels hinter der Vorderfläche zeigt. Wir sehen in unsern gewöhnlichen Spiegeln mehr als zwei Bilder; denn wenn ein in B von der Hinterseite (Fig. 30.) reflectirter Strahl die Vorderseite C erreicht, so dringt er zwar größtentheils hervor, wird aber auch zum Theil nach D und von D wieder nach O zurückgeworfen; das Auge O sieht daher außer den beiden ersten Bildern E, F, noch ein drittes Bild nach der Richtung OD und durch wiederholte Zurückwerfung von beiden Oberflächen sogar noch mehrere Bilder.

Erscheinungen bei der Verbindung zweier Spiegel.

Die wiederholte Zurückwerfung des Lichtes zeigt sich noch vielfacher bei mehreren Spiegeln. Wenn zwei Spiegel parallel sind, wie AB, CD (Fig. 31.) und ein Licht L sich zwischen beiden befindet, so sieht man nicht allein das gewöhnliche Bild I, welches ebensoweit hinter dem Spiegel liegt, als L vor dem Spiegel, sondern das Bild I_I aus dem andern Spiegel giebt uns ein neues Bild I_{II} im ersten Spiegel, und es ist $FI_I = FL$, $EI_I = EI_{II}$; ebenso giebt I ein zweites Bild im zweiten Spiegel I_{III} und dadurch ein drittes Bild I_{IV} im ersten Spiegel und so weiter; jedes dieser aus mehrmaliger Reflexion entstandenen Bilder ist schwächer, je öfter sich die Zurückwerfung wiederholt hat, weil bei jeder Reflexion nicht alles Licht zurückgeworfen wird; man sieht daher nicht allein die immer entfernteren Bilder auch kleiner, sondern zugleich von matterem Lichte, und erkennt selten mehr als sechs oder acht Lichter. Auf eben diesen wiederholten Zurückwerfungen beruhen die Erscheinungen im Winkelspiegel und im Caleidoscop. Wenn man zwei ebene Spiegel CA, CB, (Fig. 32.) unter einem

Winkel von 60 Graden gegen einander geneigt stellt, so sieht man von dem Lichte L die gewöhnlichen Bilder l_I, l_{II} in jedem der beiden Spiegel; aber der Spiegel CA giebt auch die scheinbar von dem Bilde l_I ausgehenden Strahlen zurück, und dieses so, als ob sie von l_{III}, ebenso weit hinter CA, als l_I vor CA ist, ausgingen; l_{III} ist also ein drittes Bild, und ebenso l_{IV} ein viertes, wenn man l_{II} l_{IV} auf CB senkrecht zieht und l_{IV} so weit hinter als l_{II} vor CB annimmt; endlich entsteht noch ein fünftes Bild l_V, das zugleich als Abspiegelung des Bildes l_{IV} in CA und als Abspiegelung des Bildes l_{III} in CB anzusehen ist. Wäre der Winkel ACB ein Achtel des Umfanges, so würden die auf ähnliche Weise gegen einander liegenden Lichter L l_I, l_{II} l_{III}, l_{IV} l_V viermal wieder kommen. Um diese Erscheinung ganz zu verstehen und sich zu überzeugen, daß auch des Bildes l_I gespiegeltes Bild l_{III} ebenso, wie für den Gegenstand L selbst, bestimmt wird, hat man nur nöthig, die in das Auge O gelangenden Lichtstrahlen, L m_I O, durch welche das Auge das Bild l_I sieht, L m_{II} m_{III} O, durch welchen das Auge das Bild l_{IV} sieht, und so ferner zu zeichnen, um sogleich die Gleichheit der Winkel bei der einmaligen Reflexion in m_I, (C m_I L = B m_I O), bei der zweimaligen Reflexion in m_{II}, m_{III}, (L m_{II} A = m_{II} m_{II} C = m_{II} m_{III} C = B m_{III} O) zu erkennen. Und hierin haben Sie zugleich die Erklärung der bekannten, schönen Erscheinungen im Caleidoscope, wo die regelmäßig geordneten Bilder der zwischen den beiden Spiegeln CA, CB, liegenden farbigen Körper durch ihre Symmetrie einen so angenehmen Anblick gewähren, welcher durch die unendliche Mannigfaltigkeit im Wechsel der Anordnungen, weil die Körper beweglich sind, einen unaufhörlich erneuerten Reitz erhält, so daß man fast nicht müde wird, dem immer neuen Wechsel schöner Erscheinungen seine Aufmerksamkeit zu schenken.

Täuschungen in Beziehung auf die Lage der Bilder.

Ehe ich zu den nützlichen Anwendungen übergehe, die wir von den ebnen Spiegeln bei Instrumenten machen, muß ich doch einen Augenblick bei einem Einwurfe verweilen, den man wohl einmal in Beziehung auf die scheinbare Lage der Bilder im Spiegel zu machen geneigt ist. Wenn wir in einem undurchsichtigen schön polirten Spiegel die Bilder der vor dem Spiegel liegenden Gegen-

stände sehen, so erscheinen sie uns gewöhnlich so lebhaft, daß wir sie genau so, als ob sie hinter dem Spiegel lägen, anerkennen, und völlig geneigt sind, das Bild jedes Gegenstandes als da erscheinend, wohin die Theorie es versetzt, anzunehmen; aber schon in einem schlecht polirten Metalle, in der Oberfläche polirten Holzes oder irgend eines andern Körpers, wo die Oberfläche selbst uns durch viele zerstreut zurückgeworfene Lichtstrahlen sichtbar wird, findet jene Täuschung nicht so bestimmt statt, sondern wir sind hier eher geneigt, das gespiegelte Bild näher hinter der Oberfläche zu suchen; und etwas Aehnliches ist der Fall, wenn wir in einem unbelegten, also völlig durchsichtigen Glase die gespiegelten Gegenstände und zugleich die hinter dem Glase liegenden Gegenstände sehen. Die optischen Regeln bleiben auch in diesen Fällen dieselben, aber unser Urtheil verliert an Sicherheit, weil wir zweierlei Gegenstände zugleich sehen; wir werden dann geneigt, die Holzfasern im polirten Holze zur Bezeichnung der Stelle, wo der reflectirte Strahl ausgeht, ins Auge zu fassen, und je fester wir das Auge in gleicher Stellung festhalten, desto vollkommener können wir die Täuschung, als erschiene der gespiegelte Gegenstand in dieser Oberfläche selbst, bestärken; und ungefähr ebenso ist es, wenn wir durch das spiegelnde Glas auf Gegenstände jenseits des Glases sehen. Wollen wir uns hier überzeugen, daß die nach optischen Regeln bestimmte Lage des Bildes noch immer richtig bestimmt ist, so haben wir nur (Fig. 33.) nöthig, das Auge von O nach o zu verrücken, wo der entferntere Gegenstand A uns viel mehr, als der nahe Gegenstand B, fortzurücken scheint, jener von D nach d, dieser nur von E nach e. Aehnliche Vergleichungen finden auch statt, wenn man den gespiegelten Gegenstand auf einen hinter dem Glase liegenden Gegenstand bezieht.

Der Crystallwinkelmesser.

Die ebnen Spiegel haben zu mehreren ebenso merkwürdigen, als nützlichen Anwendungen bei Instrumenten geführt. Zu diesen Instrumenten gehört der Winkelmesser für Crystalle. Wenn (Fig. 34.) ABC zwei unter einem Winkel verbundene Spiegel oder zwei spiegelnde Seitenflächen eines Crystalles sind, so ist es offenbar, daß man durch eine Drehung des Crystalles die Seite BC in

eben die Lage, wo vorhin A B war, bringen kann, und daß dann das Auge O den Reflex des Lichtes D ebenso in der zweiten Fläche sehn wird, wie vorhin in der ersten Fläche. Um also den Winkel A B C eines kleinen Crystalles zu messen, ist es nur nöthig, ihn an der Axe eines eingetheilten Kreises so zu befestigen, daß die durch B gehende Durchschnittslinie der beiden Ebnen A B, B C, mit der Drehungs-Axe des Kreises zusammenfalle; wenn man dann die auf der einen Seitenfläche beobachtete Spiegelung durch Umdrehung des Kreises genau ebenso auf der andern Fläche hervorbringt, so kann man an der Zahl von Graden, um welche der Kreis gedreht worden, die Größe des neben A B C liegenden Winkels oder des Winkels C B a kennen lernen. Die genaue Stellung des Crystalles, so daß seine Seitenlinie mit der Axe des Kreises parallel ist, macht an dem zu diesem Zwecke bestimmten Wollastonschen Goniometer einige Vorrichtungen nöthig, die dieses Instrument von andern Winkelmessern unterscheiden. Der bei h (Fig. 35.) befestigte Crystall kann nämlich, indem man O o verschiebt, der Axe des Kreises genähert, oder davon entfernt werden, und das Gelenk bei r, welches die beiden Bogen f r, t o, verbindet, dient, diejenige Seitenlinie, welche als Durchschnittslinie der beiden Seitenflächen in Betrachtung kömmt, senkrecht auf die Ebne des Kreises zu stellen; die Scheibe i dreht die Axe f f, woran der Crystall befestigt ist, allein; die Scheibe k dreht den getheilten Kreis a b, welcher die durch hinreichende Reibung in ihm festgehaltene Axe mit fortführt, wenn man nicht durch eine Drehung bei i die Axe besonders in Bewegung setzt.

Der Spiegelsextant.

Ein zweites von den Gesetzen des Spiegels abhängendes Instrument ist der Spiegelsextant. Jedem, der sich auch nie selbst mit practisch geometrischen Arbeiten oder mit dem Feldmessen abgegeben hat, ist es einleuchtend, daß man die Richtungslinien (Fig. 36.) A B, A C nach zwei entfernten Gegenständen B, C, zwar auf einem feststehenden Instrumente leicht bezeichnen und so den Winkel b A c abmessen kann; daß dies aber mit der größten Schwierigkeit verbunden ist, wenn man sich auf einem schwankenden oder seine Stelle ändernden Schiffe befindet, wenn man am Fen-

ster eines Thurmes jene Gegenstände nur sehen kann, indem man das Instrument außerhalb des Fensters hinaus hält, und unter ähnlichen Umständen. Mit Hülfe eines gewöhnlichen Winkelmessers nämlich kann man immer nur einen Gegenstand nach dem andern beobachten; das zuerst gegen **B** gerichtete Lineal, dessen richtige Stellung uns den Punct **b** auf dem Gradbogen kennen gelehrt hatte, muß nun nach **C** gewandt werden, damit wir den Bogen **b c** ablesen können, und es bedarf daher eines festen Standpunctes, damit das Instrument in der Zwischenzeit unverrückt bleibe. Um in einer unsichern, wankenden Stellung oder auf einem nie ganz unverrückt bleibenden Schiffe diesen Winkel zu messen, müßte man nach beiden Gegenständen zugleich visiren, und dieses ist mit Hülfe zweier Spiegel, so wie sie beim Spiegelsextanten vereinigt sind, möglich. Hier nämlich (**Fig. 37.**) ist **A B** der sechste Theil eines eingetheilten Kreises, (und daher heißt das Instrument ein Sextant,) an welchem im Mittelpuncte **C** eine Regel, ein um den Mittelpunct drehbares Lineal, befestigt ist, welches einen Spiegel **l g**, senkrecht stehend auf der Ebne des Kreises, mit sich fortführt; ein zweiter Spiegel ist feststehend in **I F** angebracht, und in diesen hinein sieht man durch das ebenfalls an dem Kreise befestigte Fernrohr **O**. Der Spiegel **I F** hat nur eine solche Höhe, daß er die Oeffnung des Fernrohrs ungefähr halb verdeckt, so daß man durch **O** sowohl den Gegenstand **H** über dem Spiegel wegsehend, als die Bilder von Gegenständen im Spiegel, beobachten kann; und zugleich hat der Spiegel **I F** die Stellung, daß er mit der nach dem Nullpuncte **B** gerichteten Lage des Lineals **C B** parallel ist. Nun läßt sich leicht übersehen, daß das durch **O** beobachtende Auge des sehr entfernten Gegenstandes **H** Bild im Spiegel sehen muß, wenn **L G** mit **I F** parallel und beider Lage so ist, daß die Winkel **O N F** = **I N C** gleich werden. Der Gegenstand **H** braucht nämlich nur einige tausend Fuß entfernt zu sein, so wird man schon die von ihm herkommenden Lichtstrahlen **K C** und **H N O**, als unter sich parallel ansehen dürfen, und da parallele Linien **K C**, **H N**, mit parallelen Linien **L G**, **I F**, gleiche Winkel machen, so wird, bei der vorausgesetzten Stellung der Spiegel, der Lichtstrahl **K C** vom ersten Spiegel **L G** unter dem Winkel **N C G** = **K C L** zurückgeworfen, und erreicht, zum zweiten Male reflectirt, weil **I N C** = **O N F** =

HNI war, durch das Fernrohr gehend, das Auge. So lange also das Lineal CB mit seinem Spiegel auf Null gestellt bleibt, sieht man den Gegenstand H durch das Fernrohr doppelt, nämlich durch den graden Lichtstrahl und durch Spiegelung. Wird dagegen das Lineal fortgedreht, so daß es nach und nach die Stellung CD erreicht, wobei der Spiegel nach lg kömmt, so sieht das Auge durch das Fernrohr blickend zwar noch immer den Gegenstand H über dem Spiegel weg, aber nun gehen die gespiegelten Bilder andrer Gegenstände vor ihm vorbei; und wenn man die Lage eines gewissen Gegenstandes S bestimmen will, so hält man das Lineal an, wenn dieser Gegenstand S im Spiegel mit dem nach grader Richtung gesehenen Gegenstande H zugleich erscheint. Da das Fernrohr und der zweite Spiegel ihre feste Stellung am Kreise behalten, so wird der nach zweimaliger Spiegelung reflectirte Strahl noch immer in der Richtung NO zum Auge gelangen, und eben deshalb auch immer nach der Richtung CN vom ersten Spiegel ausgegangen sein; aber dieser erste Spiegel hat jetzt die Stellung lg und der unter dem Winkel NCg zurückgeworfene Strahl muß unter dem eben so großen Winkel SCl aufgefallen sein; damit ist offenbar die Lage des Punctes S, der bei dieser Stellung im Spiegel erscheint, bestimmt. Diese Lage, um welchen Winkel SCK nämlich die Richtung CS von CK abweicht, oder welcher Winkel zwischen den vom Auge nach H und nach S gezogenen Linien liegt, wird auf dem Gradbogen BDA bestimmt. Ist LG um 20 Grade fortgerückt, so ist der Zurückwerfungswinkel NCg um 20 Grade kleiner als NCG, und ebenso groß muß der Unterschied zwischen den Winkeln SCl und KCL sein; es ist daher KCS doppelt so groß = 40 Grad, weil

$$KCl = KCL + 20^0,$$

$$SCl = KCL - 20^0 = NCg = NCG - 20^0,$$

$$SCK = 40^0$$

ist, oder mit andern Worten: indem der Spiegel um 1 Grad fortrückt, ändert sich so wohl der Einfallswinkel, als der Reflexionswinkel, um 1 Grad, und der gespiegelte Gegenstand ist also um 2 Grade von demjenigen Gegenstande entfernt, den man bei der vorigen Stellung im Spiegel sah.

Der Bogen BD enthält daher allemal halb so viel Grade als der Winkel KCS, und man pflegt deshalb hier die halben Grade zu zählen, den Bogen AB des Sextanten in 120 halbe Grade zu

theilen, um sogleich jenen Winkel richtig abzulesen. Sie übersehen leicht, daß, wenn gleich meine Darstellung so lautet, als ob das Fernrohr immer unverrückt auf H gerichtet bleibe, diese feste Stellung doch durchaus nicht nothwendig ist. Mag immerhin meine Hand, die den Sextanten hält, wanken, oder mögen die Schwankungen des Schiffes mich in ungleiche Stellungen bringen, so werde ich doch von Zeit zu Zeit wieder die Richtung des Fernrohrs, bei welcher ich H im Fernrohr sehe, erreichen, und nach einigem Hin- und Herrücken des Lineals C D es dahin bringen, daß ich den Gegenstand H in grader Richtung und den Gegenstand S im Spiegel zugleich sehe; und wenn ich nun, indem ich mehrmals diese Stellung wieder erreiche, oder mit fester Haltung die Gegenstände nicht mehr aus dem Auge verliere, die Ueberzeugung gewinne, daß das Zusammentreffen genau ist, so habe ich den verlangten Winkel gemessen, der Unsicherheit meiner Stellung ungeachtet. Auf diese Weise bestimmt man auf dem Schiffe die Sonnenhöhe, indem man nach dem Seehorizonte sieht, und das gespiegelte Sonnenbild, durch Verdunkelungsgläser geschwächt, mit dem Horizonte zusammenfallend erblickt; auf eben die Weise nimmt man den Abstand des Mondes von der Sonne, um daraus die geographische Länge zu berechnen, u. s. w.

Das Heliotrop.

Durch den, als tiefsinnigen Mathematiker so berühmten Gauß ist die Zahl der Spiegel-Instrumente noch mit einem neuen vermehrt worden. Bei der großen, über das ganze Königreich Hannover ausgedehnten, höchst genauen Messung, deren Direction Gauß übertragen war, wurde das, auch sonst schon oft gefühlte Bedürfniß, weit sichtbare und einen sehr genau bestimmten Punct darbietende Signale zu besitzen, öfter merklich, indem aufgerichtete Gerüste oder andre größere Gegenstände, Kirchthürme und dergl. nicht mit der Schärfe, die man bei der Feinheit unsrer Instrumente fordern darf, beobachtet werden können, da ungleiche Beleuchtung uns z. B. bald die eine, bald die andre Seite einer Thurmspitze lebhafter zeigt, und uns dadurch zu Fehlern im Visiren verleitet. Hellleuchtende Feuersignale von geringem Durchmesser sind diesem Vorwurfe nicht ausgesetzt, aber meistens ist ihr

Licht am Tage zu schwach, um brauchbar zu sein; Gauß kam daher auf den Gedanken, das zurückgeworfene Sonnenlicht als Signal anzuwenden. Bei der großen Lebhaftigkeit des Sonnenlichtes ist ein Spiegelbild der Sonne bis zu sehr großen Entfernungen sichtbar, wie uns schon die aus weiter Ferne sichtbaren, glänzenden Fenster, in welchen sich die Abendsonne spiegelt, zeigen, obgleich die Fensterscheiben nur sehr unvollkommene Spiegel sind. Dieses Signal des dem Beobachter zugeworfenen Sonnenlichtes hat aber nicht allein den Vorzug eines lebhaften Glanzes, sondern es ist auch auf einen sehr kleinen Raum beschränkt, indem ein Spiegel von 3 Zoll Seite in 1 Meile Entfernung nur unter einem Sehewinkel von 2 Secunden erscheint, und folglich, da man sich dieses Mittels nur bei erheblichen Entfernungen zu bedienen nöthig hat, man den leuchtenden Gegenstand leicht als innerhalb $\frac{1}{2}$ Sec. beschränkt erhalten kann. Die Intensität des Sonnenlichtes und selbst des reflectirten Sonnenlichtes ist aber so groß, daß man das gespiegelte Sonnenbild in einem 2 bis 3 zolligen Spiegel bis auf 120000 Fuß, das heißt bis auf 5 deutsche Meilen, mit bloßem Auge sieht, obgleich ein solcher Spiegel nur unter einem Sehewinkel von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ Secunden erscheint.

Die Schwierigkeit bei der Anwendung dieses Signales bestand aber darin, daß man kein Instrument besaß, mit dessen Hülfe man mit Sicherheit dem entfernten Beobachter das Sonnenbild zuwerfen, oder ihn sicher in Stand setzen konnte, das gespiegelte Bild zu sehen, welches man, um ihm einen genauen Absehepunct zu geben, hervorbringt; und dieser Schwierigkeit hilft das von Gauß unter dem Namen Heliotrop angegebene Instrument ab. Es besteht (Fig. 38.) aus einem Fernrohre AB, vor welchem zwei auf einander senkrechte Spiegel mq, gz befestiget sind. Stellen auch in Fig. 39. mq, gz die beiden Spiegel vor, so ist die Regel des Gebrauchs diese: man richtet das Fernrohr AB auf den Beobachter, welchem man das Sonnenlicht zuwerfen will, und wendet, während es so steht, die vereinigten Spiegel so, daß man mit dem Fernrohre in dem kleineren Spiegel gz die Sonne sieht; alsdann sieht der entfernte Beobachter das Sonnenbild im größern Spiegel. Es ist nämlich einleuchtend, daß der Sonnenstrahl SN von dem Spiegel mq nach NO geworfen wird, wenn der Spiegel

gz ihn nach NB zurückwirft, weil aus der Gleichheit der Winkel SNz = BNg auch die Gleichheit SNm = ONq folgt. NB und NO machen also eine genaue grade Linie. Diese durch das Heliotrop gegebenen Signale sind freilich auf den Sonnenschein beschränkt, dann aber auch wegen der festen Bestimmung eines kleinen Punctes, wegen der genauen Kenntniß desjenigen Punctes, wohin der Beobachter, dem man das Sonnenlicht zuwirft, visirt, vorzüglich geeignet, bei Messungen, wo man eine bis auf Theile des Fußes gehende Genauigkeit fordert, angewandt zu werden.

Der Heliostat.

Noch ein Spiegel-Instrument, den Heliostat, kann ich hier zwar nicht wohl umständlich beschreiben; aber seinen Zweck muß ich doch wenigstens angeben. Es ist bei manchen Versuchen erforderlich, daß man einen, durch eine Oeffnung ins finstre Zimmer fallenden Sonnenstrahl lange Zeit in einerlei Richtung einfallend erhalte; aber das Fortrücken der Sonne gestattet dieses nicht. Läßt man das Sonnenbild, von einem ebnen Spiegel reflectirt, jenen Strahl in das finstre Zimmer werfen, so gewährt das zwar den Vortheil, dem Sonnenstrahle eine willkührliche Richtung zu geben, aber mit dem Fortrücken der Sonne am Himmel ändert sich diese Richtung. Der Heliostat ist dagegen bestimmt, dem Sonnenstrahle eine feste Richtung zu geben, und dieses bewirkt er dadurch, daß er, vermittelst eines Uhrwerkes, den Spiegel so fortführt, wie es nöthig ist, um den zurückgeworfenen Strahl immer in derselben Richtung zu erhalten. Die dazu von 's Gravesand schon gemachte Anordnung des Instrumentes ist ziemlich zusammengesetzt, und die Erklärung der Gründe für diese Anordnung nicht leicht, weshalb ich sie hier übergehe *). In Ermangelung eines so kostbaren Instruments pflegt man den Spiegel, den man an den Fensterladen anschraubt, um einen Lichtstrahl in das dunkle Zimmer zu werfen, mit zwei Schrauben zu versehen, damit eine gehörige Aenderung in der Stellung des Spiegels das zu beobachtende Sonnenbild stets an einer Stelle, den Sonnenstrahl in stets gleicher Richtung, erhalte.

*) S. Gehlers Wörterbuch. Art. Heliostat.

Der Hohlspiegel.

Unter den Spiegeln, deren Oberflächen krumm sind, verdienen die Hohlspiegel, die entweder kugelförmig oder paraboliſch geschliffen werden, wegen der mannigfaltigen Anwendung, welche sie darbieten, vorzügliche Aufmerksamkeit. Die Gesetze der Zurückwerfung des Lichtes sind bei krummen Flächen dieselben, wie bei Ebnen, nur muß man hier die Gleichheit des Einfallswinkels und des Reflexionswinkels von der berührenden Ebne an rechnen, oder unter dem Einfallslothe die auf diese berührende Ebne senkrechte Linie verstehen. Sobald man dies berücksichtiget, ist es leicht, die Erscheinungen des Sammelns der Strahlen, des Entstehens der Bilder u. s. w. zu erklären. Es sei AB (Fig. 40.) ein Theil einer spiegelnden Kugelfläche, deren Mittelpunct in C liegt, D sei ein in dem verlängerten Radius CE liegender leuchtender Punct; so ist leicht zu übersehen, daß ein Lichtstrahl DG, welcher in G den Spiegel trifft, so nach F zurückgeworfen wird, daß er in F mit der Linie DC zusammentrifft, wenn so wohl mit der Tangente IH die gleichen Winkel DGH, FGI, als mit dem Einfallslothe CG die gleichen Winkel FGC, DGC gebildet werden; hier ist GC auf GH senkrecht, der Halbmesser zugleich das Einfallsloth. Zeichnet man ebenso für einen andern Punct g, DgC = FgC, so findet sich, daß die zurückgeworfenen Strahlen GF, gF, fast genau in eben dem Puncte F der Linie ED, welche man die Axe des Spiegels nennt, eintreffen, und dort also eine starke Erleuchtung hervorbringen. Dieses genaue Zusammentreffen der reflectirten Strahlen in einem Puncte findet nur für die nahe bei E einfallenden Strahlen statt; man giebt daher dem Hohlspiegel keine allzu bedeutende Breite in Vergleichung gegen den Halbmesser EC, damit die von entfernteren Puncten A aus zurückgeworfenen Strahlen, welche nicht in F eintreffen, keine Verwirrung in das Bild, welches man durch den Hohlspiegel hervorzubringen beabsichtigt, bringen.

Um aber richtig zu übersehen, warum hier ein wahres Bild des Gegenstandes entsteht, hat man nur nöthig Folgendes zu überlegen. Wenn neben D ein zweiter leuchtender Punct d liegt, so findet man für die von ihm auf den Spiegel fallenden Strahlen

ebenso auf dem Halbmesser Ce, der verlängert durch d geht, einen Sammelpunct der Strahlen in f, wie wir ihn eben vorhin in F fanden, und wenn also D ein rothes, d ein blaues Licht hätte, so würde auch F mit rothem, f mit blauem Lichte erleuchtet sein; es wird sich also bei Ff eine ebenso geordnete Reihe von erleuchteten Puncten, wie in Dd von leuchtenden Puncten, finden, also ein Bild des Gegenstandes Dd entstehen. Um dieses Bild in allen Stellungen des Auges deutlich zu erkennen, muß man entweder ein weißes Papier oder ein mattgeschliffenes Glas in Ff halten, und nur darauf achten, daß dieser, das zurückgeworfene Licht auffangende Körper nicht zu groß sei, damit er nicht zu sehr die von Dd kommenden Lichtstrahlen hindre. Das matt geschliffene Glas hat den Vorzug, daß auch ein in der Gegend O stehendes Auge dieses Bild, der Durchsichtigkeit halber, deutlich erkennt. Dieses Bild ist umgekehrt, denn es erhellt, daß f unterhalb F liegt, wenn d oberhalb D lag.

Wenn der Gegenstand Dd sich weiter entfernt, so geht das Bild Ff etwas näher gegen E zu, aber es kann höchstens bis an die Mitte des Halbmessers CE kommen, wie folgende Ueberlegungen zeigen. Es sei SE (Fig. 41.) ein Lichtstrahl, der von einem sehr entfernten Puncte kömmt, so wird man einen von eben jenem Puncte kommenden Strahl sH als parallel mit dem vorigen auffallenden Strahl ansehen dürfen; denn es ist Ihnen bekannt, daß der Winkel, welchen diese von einem sehr entfernten Puncte ausgehenden Strahlen mit einander machen, höchst geringe ist. Nach dem Gesetze der Reflexion an der Kugelfläche wird erstlich SE in seiner ursprünglichen Richtung wieder zurückgeworfen, weil er senkrecht auffällt; aber zweitens wird der Lichtstrahl sH nach F so reflectirt, daß $sHC = FHC$ ist, und da bei Parallellinien HCF ebenso groß ist, so hat das Drei-Eck CHF zwei gleiche Winkel und eben darum auch zwei gleiche Seiten $FH = FC$, die den gleichen Winkeln gegenüberstehen. Allemal also, oder für jeden Punct H des Spiegels, liegt F so, daß $FH = FC$ ist, und je näher H an E rückt, desto genauer muß HF die Hälfte der EC werden, so daß für sehr entfernte Puncte das Bild oder der Vereinigungspunct der bei EH reflectirten Strahlen in die Mitte zwischen E und C fällt. Der das Licht aussendende Ge-

genstand kann schon ziemlich nahe rücken, ehe das Bild sich sehr merklich von jenem Vereinigungspuncte, den man für sehr entfernte Gegenstände den Brennpunct des Spiegels nennt, entfernt; aber wenn der Gegenstand sehr nahe rückt, so geht das Bild immer näher nach C zu, und fällt in C selbst, wenn auch der Gegenstand in C angekommen ist. In allen diesen Fällen ist das Bild kleiner, als der Gegenstand, indem aus Fig. 40. leicht zu sehen ist, daß Ff desto kleiner gegen Dd ist, je entfernter Dd vom Mittelpuncte liegt.

Wenn dagegen der leuchtende Gegenstand (Fig. 40.) in Ff liegt, dem Spiegel etwas näher als der Mittelpunct C, so rückt das Bild in eine größere Ferne hinaus, und wird nun größer als der Gegenstand. Es findet dabei die leicht zu übersehende Regel statt, daß der Gegenstand Ff sein Bild in Dd zeigen wird, wenn umgekehrt ein Gegenstand Dd sein Bild in Ff dargestellt hätte. Stellt man in Ff ein brennendes Licht auf, so sieht man an der Wand in Dd ein vergrößertes und umgekehrtes Bild der Lichtflamme, und dieses größere Bild zeigt sich desto matter erleuchtet, je größer es ist; denn da in diesem Bilde doch immer nur die Strahlen zur Erleuchtung beitragen, die von einem bestimmten Theile des Spiegels ausgehen, und die Menge der vom Spiegel aufgefangenen Strahlen sich nicht so sehr viel ändert, wenn die Flamme auch vom Brennpuncte etwas gegen den Mittelpunct fortrückt, so muß das Bild desto matter erscheinen, je größer der Raum ist, auf welchen sich die Erleuchtung verbreitet. Dieses Größerwerden des Bildes, verbunden mit dem weiteren Hinausrücken desselben, findet so lange statt, bis der gegen E zu fortgerückte Gegenstand die Mitte des Radius CE erreicht hat; bringt man ihn dem Spiegel noch näher, so kann man nirgends mehr vor dem Spiegel ein Bild hervorbringen, sondern das Bild erscheint nun, einigermaßen wie im ebnen Spiegel, als hinter dem Spiegel liegend. Es bedarf nur einer etwas genauen Zeichnung, um die Richtigkeit dieser Behauptung zu beweisen, indem diese (Fig. 42.) zeigt, daß die von D kommenden Strahlen DI, Di, fast genau so vom Spiegel nach IM, im zurückgeworfen werden, als ob sie von einem Puncte V hinter dem Spiegel ausgingen; ein Auge in M sieht also den Gegenstand D nach der Richtung MV, ein Auge in

m sieht ihn nach der Richtung m V, und es ist daher auch hier beinahe genau richtig, daß alle Augen, die den Gegenstand D gespiegelt sehen, nach V gerichtet sind. Ganz strenge richtig, so strenge richtig, wie beim ebnen Spiegel, ist diese Behauptung nicht, aber nahe genug richtig, um bei einer nicht allzu scharfen Beobachtung für richtig zu gelten. Der Ort des Bildes, der Punct V, rückt immer näher an den Spiegel, je näher der Gegenstand selbst an den Spiegel heranrückt. Dieses Bild im Spiegel ist aufrecht und vergrößert; denn für einen zweiten Punct d des Gegenstandes liegt jener Punct, nach welchem alle Augen gerichtet sind, in v, so daß die Linien V D C, v d C beide durch den Mittelpunct C des Spiegels gehen.

Ich habe Sie hier, m. h. H., mit einer so großen Mannigfaltigkeit einzelner Fälle unterhalten müssen, daß ich fast fürchten müßte, Sie zu ermüden, wenn nicht die sogleich an jeden einzelnen Fall sich anknüpfenden Versuche eine so lebendige, und zugleich die einzelnen Regeln so klar vor Augen legende Darstellung gewährten, daß dadurch gewiß die Einförmigkeit, die sonst in dem Durchgehen verwandter Fälle liegt, gehoben wird. Um Ihnen aber die eigne Wiederholung dieser Versuche, so wie sie zu jedem einzelnen hier erwähnten Falle gehören, zu erleichtern, werden Sie mir noch einige Bemerkungen erlauben. Wenn Sie einen Hohlspiegel zur Hand nehmen, so ist es gut, zuerst den Brennpunct, das ist den Vereinigungspunct für Strahlen, die von sehr entfernten Puncten auffallen, zu finden, und dieses geschieht, wenn man das Bild F f, eines Gegenstandes auffängt, der einige tausend Fuß entfernt ist. Hat man den Brennspiegel fest aufgestellt, so kann man diesen Punct durch ein in seiner Nähe befestigtes Zeichen bemerken, und nun einen Gegenstand, zum Beispiel den Finger oder eine Cirkelspitze oder etwas Aehnliches, in die verschiedenen Stellungen bringen. Läßt man das Auge immer in der Gegend D und läßt die Cirkelspitze von C aus langsam gegen F vorrücken (Fig. 40.), so sieht man ihr Bild deutlich von C aus auf das Auge D zu kommen, und man überzeugt sich durch kleine Aenderungen in der Stellung des Auges leicht, daß das Bild wirklich vor dem Spiegel und zwischen dem Mittelpuncte und dem Auge liegt. Wenn die Cirkelspitze zu nahe gegen F gelangt, so kömmt das Bild hinter den Beobachter

zu liegen, und das Ueberraschende in dem Herannahen des Bildes findet nicht mehr statt. Man hat sich dieser Bilder auf mannigfaltige Weise bedient, um den Zuschauer völlig zu täuschen. Befindet sich nämlich ein Gegenstand in **F f**, auf welchen der bei **P** ins Zimmer tretende Zuschauer nicht so leicht aufmerksam wird, so sieht er sogleich das ganz deutlich, nahe vor ihm in **D d** in der Luft schwebende Bild, und sieht dieses so, als ob es ein wahrer Gegenstand wäre; aber sobald man ihn etwas seitwärts führt, ist dieser Gegenstand verschwunden, weil nur da der Beobachter das Bild sieht, wo Lichtstrahlen, die aus dem Spiegel kommen, sein Auge treffen. Soll er auch außer dieser Richtung, bei einer seitwärts gewählten Stellung, die Erscheinung des Bildes sehen, so muß dieses sich auf einem durchsichtigen Vorhange oder in einem durch das Bild erleuchteten Rauche oder auf ähnliche Art, darstellen. Die Geister-Erscheinungen, oder die Darstellung von Luftbildern, die man wohl unter diesem Namen ankündigt, beruhen auf ähnlichen Kunstgriffen.

Um die Erscheinungen alle zu sehen, so fern ein Auge in **D** sie wahrnehmen kann, müßte man den Gegenstand aus ziemlicher Ferne heran rücken lassen, damit das Bild von **F f** an gegen den Mittelpunct **C** zu rücke, man würde dann in **C** Gegenstand und Bild zusammentreffen, und bei noch weiterem Vorrücken des Gegenstandes nach **F** zu, das Bild vergrößert gegen das Auge zu kommen sehen. Gelangt der Gegenstand bis jenseits des Brennpunctes, so sieht man ihn hinter dem Spiegel vergrößert, und das Bild scheint aus der Ferne immer näher an die Spiegel-Oberfläche zu rücken, je mehr der Gegenstand selbst sich dem Spiegel nähert.

Ich habe den Namen: **Brennpunct**, als Bezeichnung des Punctes, wo das Bild sehr entfernter Gegenstände liegt, genannt, ohne den Grund, warum er so heißt, anzugeben. Eigentlich gehört die Erklärung dieses Namens in die Lehre von der Wärme, und es mag hier die Bemerkung genügen, daß auch die Wärmestrahlen ebenso wie die Lichtstrahlen reflectirt werden, also auch die von der Sonne zu uns gelangenden Wärmestrahlen in jenem Vereinigungspuncte gesammelt werden und dort große Wärme, ein Brennen, bewirken. Ueber die Größe der dadurch

hervorgehenden Wirkung werde ich bei der Lehre von der strahlenden Wärme etwas mehr sagen.

Hohlspiegel auf Leuchtthürmen.

Aber schließen kann ich doch die den Hohlspiegel betreffenden Betrachtungen noch nicht, da ich den großen Nutzen, welchen er auf Leuchtthürmen und bei andern Beleuchtungen gewährt, nicht übergehen darf. So gut, wie Strahlen, die von einem sehr entfernten Puncte kommen oder die parallel einfallen, in dem Brennpuncte vereinigt werden, ebenso gut erhält man auch vermittelst des Hohlspiegels parallel zurückgeworfene Strahlen, wenn im Brennpuncte sich ein Licht befindet. Sie erinnern sich, daß die allmählige Schwächung des Licht-Eindruckes oder der Erleuchtung bei größerer Entfernung daher rührt, daß die Lichtstrahlen aus einander gehend sich zerstreuen; — der Hohlspiegel hält sie zusammen. Wäre in F (Fig. 41.) nur ein einziger leuchtender Punct, so würde in S, wenn die Entfernung FS zehnmal so groß als FH ist, die Erleuchtung nur ein Hunderttel dessen, was sie in H beträgt, betragen; aber der Hohlspiegel bringt, wenn er seinen Zweck ganz erreicht, auf Ss alle Strahlen, die auf EH fielen, und bringt folglich eine in hohem Maaße verstärkte Erleuchtung hervor. Nun ist es freilich wahr, daß die hiernach berechnete Stärke der Erleuchtung nicht ganz statt findet, indem theils der Spiegel lange nicht alle auffallenden Strahlen zurückwirft, theils die Atmosphäre nie so rein ist, daß sie das Licht ganz ungeschwächt bis zu sehr großen Entfernungen gelangen ließe; aber dennoch ist die Verstärkung des Lichtes groß genug, um den Zweck, die Erleuchtung in hohem Maaße zu vergrößern, vollständig genug zu erreichen. Wenn wir auf die Anwendung bei Leuchtthürmen sehen, so scheint es Ihnen vielleicht unpassend, wenn ich da von der Größe der Erleuchtung rede; und in der That würde es auch eine viel zu umständliche Erörterung fordern, wenn man die Stärke dieser Erleuchtung, die in so großer Ferne so sehr schwach ist und die doch nie von dem Brennpuncte ganz allein ausgehen kann, und nie von ihm allein ausgehen darf, von einer größern Flamme ausgehen muß, wenn sie eine erhebliche Stärke haben soll, zu bestimmen suchen wollte. In Beziehung auf das in großen Fernen ge-

sehene Licht eines Leuchtthurmes ist es daher wohl besser, den Gegenstand so aufzufassen. Wenn das Licht F dem Brennpuncte sehr nahe steht, so daß in S ein wahres Bild entstände, so erhielte das Auge in S reflectirte Strahlen von allen Puncten des Spiegels, der ganze Spiegel EH würde dem Auge in S fast eben so glänzend als die Lichtflamme selbst erscheinen; dadurch hätte das Auge in S den Vortheil, statt des einen leuchtenden Punctes F den ganzen Spiegel leuchtend zu sehen, also ein Licht von der scheinbaren Größe des ganzen Spiegels wahrzunehmen. Und so verhält es sich in allen sehr entfernten Puncten, so daß man die Entfernung, bis zu welcher man den Spiegel des Leuchtthurms sehen kann, nach der scheinbaren Größe desselben beurtheilen muß, und diese scheinbare Größe braucht nur sehr klein zu sein, um bei heller Luft in dunkler Nacht dem Auge noch einen hinreichenden Eindruck zu geben. Daß dieser Glanz des Spiegels übrigens nicht völlig so groß ist, daß nämlich der Spiegel nicht alle Lichtstrahlen reflectirt, das läßt sich leicht erwarten. Nach Herschels Bestimmungen beträgt bei den besten Spiegeln das reflectirte Licht nur ungefähr $\frac{3}{4}$ des einfallenden.

Ich habe bisher die Hohlspiegel immer als genau kugelförmig angesehen, weil wir mit dem Kreise, als der Durchschnittslinie des Kugelspiegels, am meisten vertraut sind; aber der Kreis hat nicht auf das Vollkommenste die Eigenschaft, daß parallel einfallende Strahlen in einem einzigen Puncte vereinigt werden, oder daß umgekehrt die vom Brennpuncte ausgehenden Strahlen eine genau parallele Richtung erlangen, sondern für recht gute Hohlspiegel, die zu Spiegeltelescopen dienen oder auf Leuchtthürmen gebraucht werden sollen, muß die paraboliſche Gestalt gewählt werden. Diese hat den Vorzug, daß selbst für Puncte H, Z, (Fig. 43.) die von der Axe entfernter sind, die Vereinigung in einen Punct für parallele Strahlen genau statt findet, und daher das auf einen größern Theil des Spiegels auffallende Licht zur Erleuchtung dieses Punctes beiträgt. Soll eine brennende Lampe in dem Brennpuncte eines so weit ausgedehnten Brennspiegels angebracht sein, so läßt man in diesem eine Oeffnung, um grade oberhalb der Flamme den nöthigen Luftzug durchzulassen. Der Spiegel bildet einen Theil einer runden paraboliſchen Fläche, eines Paraboloids, nämlich einer

Fläche, welche entsteht, wenn die Parabel, deren Beschaffenheit Sie schon aus andern Betrachtungen kennen *), sich um ihre Haupt=Axe dreht.

Brennlinien.

Bei dem Kreise und eben deshalb bei der Kugelfläche ist das Zusammentreffen der reflectirten Strahlen, die den parallel einfallenden zugehören, nicht vollkommen genau, sondern wenn man (Fig. 41.) parallele Strahlen **sH, BG** zeichnet, und die einem jeden von ihnen zugehörenden zurückgeworfenen Strahlen **HF, GI** hinzufügt; so treffen zwar die nahe bei **E** auffallenden sämmtlich sehr nahe in einem Puncte **F** zusammen, aber die entfernteren haben andre Durchschnittspuncte. Diese entfernteren Strahlen darf man daher, wie ich schon früher bemerkt habe, nicht mit gebrauchen, das heißt, man darf einen zu großen Theil des Kreises oder des Hohlspiegels nicht anwenden, wenn man ein reines Bild des leuchtenden Punctes erhalten will, weil bei einem so großen Theile des Spiegels nicht ein einziger erleuchteter Punct, sondern eine erleuchtete Linie, eine Brennlinie, hervorgeht. Da diese Brennlinie sich uns am öftersten da zeigt, wo ein nahe stehendes Licht seine Strahlen auf eine hohle Cylinderfläche wirft, etwa auf die innere Seite einer cylindrischen Porcellantasse, so will ich sie hier so zeichnen, wie sie bei nahe stehendem Lichte erscheint. Es stehe nämlich das Licht **F** über dem Rande der Tasse (Fig. 44.), deren kreisförmigen Querschnitt die Figur darstellt, so werden, wenn wir bloß auf diesen kreisförmigen Querschnitt sehen, die Strahlen **Fa** nach **a**α, **Fb** nach **b**β, **Fc** nach **c**γ und so ferner zurückgeworfen, und da alles von dem Bogen **ab** reflectirte Licht sich in dem kleinen Raume $\alpha\beta$, alles von **bc** reflectirte Licht sich in dem kleinen Raume $\beta\gamma$ vereinigt, so erscheint die Linie $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ sehr erhellt, und sie ist eben das, was wir Brennlinie nennen. Sie ist am glänzendsten in der Gegend von α, weil hier die Bogen, deren reflectirtes Licht sich in einem kleinen Raume vereinigt, am größesten sind. Wir bemerken diese Linien oft genug, ihre Veränderungen bei veränderter Stellung des Lichtes u. s. w. gewähren eine ange=

*) 1. Theil. S. 77.

nehme Unterhaltung, und Sie sehen hier nun die geometrischen Regeln, nach welchen sie in allen Fällen bestimmt werden können; Sie sehen hier die Mittel, wie wir die Puncte, die zur Erleuchtung des einen oder andern Theiles derselben beitragen, angeben, ja sogar, wie wir den verhältnißmäßigen Grad der in jedem einzelnen Puncte statt findenden Erleuchtung finden können.

Convexe Kugelspiegel.

Weniger wichtig für Anwendungen, als die Hohlspiegel, sind die erhabenen Kugelspiegel. Jene geben uns, wie Sie in der Folge sehen werden, Mittel, um in Teleskopen und Microscopen diejenigen Bilder darzustellen, deren Betrachtung den Zweck dieser Instrumente ausmacht; die convexen Spiegel dagegen bieten allenfalls nur einen recht angenehmen Anblick der gespiegelten Gegenstände dar, ohne bis jetzt weiteren Nutzen zu gewähren.

Die Gegenstände erscheinen im convexen Kugelspiegel so als ob ihr Bild innerhalb der Kugel läge, und sie erscheinen sehr verkleinert. Was das erstere betrifft, so ergiebt die Zeichnung (Fig. 45.), daß die von A ausgehenden Lichtstrahlen A B, A b, nach B D und b d zurückgeworfen werden; der nach A G auffallende Lichtstrahl wird in sich selbst reflectirt. Alle zwischen G und b auffallende Strahlen geben zurückgeworfene Strahlen, die sich beinahe in einem einzigen Puncte E, der innerhalb des Spiegels liegt, durchschneiden, und dieser Punct ist als das Bild des Gegenstandes A anzusehen, nach ihm nämlich richten sich, zwar nicht mit vollkommener Strenge aber doch beinahe genau, alle Augen D, d, die den Punct A im Kugelspiegel sehen wollen. Die Kleinheit des Bildes aber läßt sich auch leicht beweisen. Wenn A L ein leuchtender Gegenstand ist, und L ist ebenso entfernt als A vom Mittelpuncte C, so liegt der Punct, den wir als Bild für L finden, in M anf der Linie C L, so wie E auf der Linie C A lag, und das Auge in D oder d sieht den Gegenstand A L, so als ob M E sein Bild wäre, also stark verkleinert. Je kleiner der Durchmesser des Kugelspiegels ist, desto kleiner erscheint dieses Bild, und man kann daher einen kleinen Kugelspiegel, eine kleine mit Queckſilber gefüllte Glaskugel, anwenden, um ein sehr kleines, hellglänzendes Sonnenbild zu erhalten.

Dieses kleine Bild kann nach Wollastons Vorschlag dienen, um das Licht der Sterne unter einander, ja selbst um das Licht der Sonne mit dem Lichte eines Sternes, zu vergleichen, und da wir noch kein recht passendes anderes Mittel zu dieser Vergleichung besitzen, so verdient dieser Vorschlag wohl einige Berücksichtigung, wenn gleich auch hier der genauen Vergleichung manche Schwierigkeiten im Wege stehen. Die Anordnung des Versuches würde folgende sein. Man läßt auf zwei gleiche Kugelspiegel auf den einen das Sonnenlicht, auf den andern das Licht einer hell brennenden Lampe fallen und entfernt die letztere so weit, bis diese Bilder, die man, in gehöriger Entfernung entstehend, mit dem Fernrohr betrachten kann, gleich erscheinen; so erhält man zunächst eine Vergleichung des gesammten Sonnenlichtes mit dem Lampenlichte. Eben die Vergleichung stellt man nun Abends mit dem im Kugelspiegel gesehenen Lampenlichte und einem gradezu, ohne Spiegel, gesehenen Sterne an, um die zweite Vergleichung zwischen dem Lampenlichte und dem Sterne zu erhalten; und diese doppelte Vergleichung kann zu einer Kenntniß, das Wievielfache des Sternenlichtes wir im Sonnenlichte beobachten, führen. Allerdings erhellt, daß diese Vergleichung wegen der ungemein großen Verschiedenheit der Lichtstärke keine strenge Genauigkeit gestattet, daß überdies dabei die gelbe Farbe selbst des besten Lampenlichtes, verglichen mit dem reinen Weiß des Sonnenlichtes, störend einwirkt; indeß könnte doch selbst für diesen Zweck eine solche Vergleichung belehrend sein, noch mehr aber scheint sie angemessen, um die Lichtstärke zweier Sterne zu vergleichen, da diese mit derselben, nur in verschiedenen Entfernungen von dem Kugelspiegel aufgestellten Lampe verglichen werden könnten, und es also da nur darauf ankäme zu berechnen, welcher gesammte Licht-Eindruck bei den verschiedenen Entfernungen der Lampe von diesem Bilde bewirkt würde.

Cylinderspiegel. Kegelspiegel.

Diejenigen Spiegel, deren polirte Oberfläche eine Cylinderfläche oder eine Kegelfläche ist, würde ich, ihrer geringen Anwendbarkeit halber, gar nicht erwähnen, wenn nicht die verzerrten Zeichnungen, die man zu Darstellung eines kenntlichen Bildes in diesen

Spiegeln zu besitzen pflegt, doch wohl verdienten, daß wir einen Augenblick dabei verweilen. Es läßt sich leicht übersehen, daß im Cylinderspiegel der grade vor dem Spiegel stehende Gegenstand in der Richtung, welche mit der Axe des Cylinders zusammenfällt, so wie im ebnen Spiegel, dagegen in der darauf senkrechten Richtung verkleinert wie im Kugelspiegel, erscheinen muß. Die Gegenstände erscheinen also nicht im richtigen Verhältniß ihrer Theile, und dies ist noch weniger der Fall, wenn sie seitwärts von dem auf den Spiegel sehenden Beobachter liegen. Ein vor dem Cylinderspiegel liegendes in richtigen Verhältnissen gezeichnetes Bild gibt daher ein verzerrtes Spiegelbild, und umgekehrt muß man ein nach bestimmten Regeln unrichtiges, verzerrtes Bild zeichnen, wenn es im Spiegel in richtigen Verhältnissen erscheinen soll. Die Regeln, nach denen diese Zeichnungen verfertigt werden, sind ziemlich verwickelt, und ich will daher bei ihnen nicht verweilen, sondern die viel leichteren Regeln der Zeichnung für den Kegelspiegel angeben.

Wenn man oberhalb des Kegelspiegels (Fig. 46.) **ACB** das Auge in der verlängerten Axe, in **O** hält, so sieht man alle um die Grundfläche des Kegels herum liegenden Puncte abgespiegelt, und ihr Bild erscheint ungefähr so, als ob die gespiegelten Gegenstände auf dieser Grundfläche **AB** selbst aufgezeichnet wären. Will man nun einen Gegenstand, einen Kopf zum Beispiel, als Spiegelbild erhalten, so muß man nach folgender Regel jeden Punct auf eine die Grundfläche umgebende Zeichnung eintragen. Man zeichnet den Kopf auf einen Kreis **AB**, der genau von der Grundfläche des Kegels bedeckt wird; soll nun der Punct **s** dieses Bildes in die Zeichnung eingetragen werden, so trägt man in der Hülfszeichnung, welche Fig. 46. zeigt, **s** so weit von der Axe **D** ein, als jener Punct vom Mittelpuncte absteht, zieht **sO** nach dem Augenpuncte, macht die Winkel **sEB = BET = CEO** gleich, und bemerkt, indem man so **ET** zieht, den Punct **T**, wo diese Linie in die Ebne der Grundfläche eintrifft; — so weit als **T** von **D** entfernt ist, wird der aufzuzeichnende Punct, auf eben dem Radius, in welchem **s** liegt, eingetragen. So verfährt man in Beziehung auf alle Hauptpuncte, und muß dann suchen, geschickt die so gegebenen Puncte zu Darstellung des ganzen Zerrbildes zu benutzen. Die Zeichnung für **t** und t^1, deren Urbild nach **t** und t^1

Bayerische Staatsbibliothek München

kömmt, zeigt, daß die Puncte, die das Auge O um die Mitte sehen soll, am weitesten hinaus gerückt werden; daher denn bei einem abgebildeten Gesichte, dessen Mund grade die Mitte des Spiegelbildes ausmachen soll, die Seltsamkeit eintritt, daß die Lippen rund um den Rand des Zerrbildes laufen, während in der Gegend T zum Beispiel die Stirn, in der Gegend U Kinn und Hals liegen.

Nützliche Anwendungen dieser Spiegel möchten sich wohl kaum erdenken lassen.

Sechste Vorlesung.

Die Behauptung, m. h. H., das Licht gehe nach graden Linien fort, scheint uns eine so wohl begründete zu sein, daß wir bei allen Gegenständen, die wir sehen, vorausgesetzt, daß sie uns nicht im Spiegel erscheinen, kaum einen Zweifel hegen, ob sie anderswo, als in der Richtung liegen, welche der zu unserm Auge gelangende Lichtstrahl uns angiebt. Und gleichwohl leidet jene Behauptung noch viele Ausnahmen, die uns oft genug kenntlich werden und zu unzähligen Täuschungen oder unrichtigen Schlüssen Anlaß geben. Die Brechung der Lichtstrahlen ist eine der vorzüglichsten Ursachen dieser Abweichung des Lichtstrahles von der graden Richtung.

Brechung der Lichtstrahlen.

Wenn ich (Fig. 47.) auf dem Boden des Gefäßes **A D C B** einen Punct **E** bezeichne, und nun mein Auge in **O** so stelle, daß ich diesen Punct grade noch an dem Rande **B** vorbei sehe, so ist, wenn das Gefäß leer, das heißt bloß mit Luft gefüllt, ist, kein Zweifel, daß die von **E** über **B** nach meinem Auge **O** gezogne Linie eine grade Linie sein muß. Wir sagen hier mit vollem Rechte, der von **E** ausgehende, zum Auge **O** gelangende Lichtstrahl kömmt, weil er immer in einerlei Körper, in der Luft, fortgeht, in grader Linie zum Auge, und da wir ihn, als unmittelbar an **B** vorbei gehend erkennen, so ist **E B O** grade. Aber wenn wir nun Wasser

Bayerische Staatsbibliothek München

eingießen und das Gefäß bis an GH füllen, während das Auge unverrückt in O bleibt, so scheint E über den Rand hervorzusteigen und ein Punct F, der vorher vom Rande bedeckt war, wird sichtbar. Sucht man den Punct m auf, wo der von E zum Auge gelangende Strahl aus dem Wasser hervordringt, so findet man ihn nicht mehr mit E und O in grader Linie; aber ein Gegenstand, (die Spitze eines Cirkels zum Beispiel,) der die grade Linie mO verfolgt, verdeckt dem Auge den Punct E, und eben das geschieht, wenn dieser Gegenstand die grade Linie mE verfolgt, so daß wir mit Sicherheit schließen können, der zum Auge gelangende Lichtstrahl setze von E bis m, so lange er im Wasser bleibt, seinen Weg in grader Richtung fort, beim Hervortreten aus dem Wasser aber gehe er in die veränderte Richtung mO über. Und diese Aenderung der Richtung ist es, was wir Brechung des Lichtstrahles, Refraction, nennen.

Diese Brechung findet immer statt, wenn der Lichtstrahl aus einem durchsichtigen Körper in einen andern in einer schiefen Richtung gegen die Trennungsfläche übergeht, oder wenigstens giebt es nur wenige Körper, die ein so genau gleiches Verhältniß gegen das Licht zeigen, daß der aus dem einen derselben austretende und ohne Zwischenraum in den andern übergehende Strahl gänzlich ungebrochen bliebe. Ein senkrecht auf die Oberfläche fallender Lichtstrahl behält dagegen seine Richtung auch in dem andern Körper, in welchen er eindringt. Die Brechung findet so statt, daß der Lichtstrahl, wenn er in einen dichteren Körper übergeht, tiefer eindringt, als es seiner vorigen Richtung angemessen ist, statt daß beim Eindringen in einen minder dichten Körper der Strahl eine geringere Neigung gegen die Oberfläche annimmt, als der grade Fortgang des Strahles es fordern würde. Doch diese Bestimmungen sind zu oberflächlich, und müssen um so mehr in strengeren Ausdrücken angegeben werden, da sie einem so sehr bestimmten Gesetze unterworfen sind.

Bestimmung der Gesetze der Brechung.

Um diese Gesetze genau anzugeben, denken wir uns in dem Puncte (Fig. 48.) A, wo der Lichtstrahl BA die Trennungsfläche der beiden durchsichtigen Körper erreicht, die Senkrechte AC gegen

diese Trennungsfläche **DE** oder das Einfallsloth errichtet. Befindet sich nun unterhalb **DE** ein dichterer, ein das Licht stärker brechender Körper, so wird, wie man sich ausdrückt, der Lichtstrahl bei seinem Eintritte in den stärker brechenden Körper gegen das Einfallsloth zu gebrochen, das heißt, der Winkel, welchen der in diesen Körper übergegangene Lichtstrahl **AG** mit der Senkrechten **AH** macht, ist kleiner, als der Winkel, den der Strahl **BA** mit **AC** machte. Bei dieser Brechung bleibt der Lichtstrahl **AG** in eben der Ebne, in welcher der einfallende Strahl und das Einfallsloth lagen; er wird also nicht seitwärts abgelenkt, sondern sein Fortgang wird nur nach der mit **AH** parallelen Richtung verstärkt; er wird zu einem tieferen Eindringen veranlaßt. In welchem Maaße diese Verkleinerung des Winkels **HAG**, der nämlich kleiner als **BAC** wird, statt findet, das hängt von der eigenthümlichen Natur der brechenden Körper ab; aber es giebt ein vollkommen strenges Gesetz, welches für einerlei Körper in Beziehung auf alle Strahlen, der Winkel **BAC** sei größer oder kleiner, gültig ist. Um dieses Gesetz zuerst durch ein Beispiel zu erläutern, dringe der Lichtstrahl aus Luft in einen Glaskörper **DGE** ein, so ist fast genau, wenn man einen Kreis um **A** zieht, also **AN = AL** nimmt, die senkrecht auf **CH** gezogene **NO** zwei Drittel der ebenfalls auf **CH** senkrechten **LM**, und dieses Verhältniß bleibt genau gleich bei allen Einfallswinkeln. Hat man also eine Glas-Art, bei welcher dieses Brechungsverhältniß genau statt findet, so ist es sehr leicht, für jeden einfallenden Strahl **ba** die Richtung des gebrochenen Strahles zu finden. Man errichtet nämlich in **a**, wo der Strahl die Oberfläche trifft, das Einfallsloth **cah**, zieht um **a** als Mittelpunct mit willkürlichem Halbmesser einen Kreis, und in demselben von dem Puncte **l**, wo der einfallende Strahl ihn schneidet, eine Linie **lm** auf das Einfallsloth senkrecht; man sucht nun den Punct **n** desselben Kreises, dessen senkrechter Abstand von **ch** zwei Drittel der **lm** ist, **no** $= \frac{2}{3}$ **lm**, durch diesen Punct **n** geht der gebrochene Strahl **ag**. Und was hier für das Brechungsverhältniß **1** zu $\frac{2}{3}$ angegeben ist, das findet auch bei andern Brechungsverhältnissen auf ähnliche Weise statt, so daß zum Beispiel bei einem Glase, wo das Brechungsverhältniß nicht $1 : \frac{2}{3}$, sondern **1** zu **0,64** wäre, allemal **no 64** solche Theile, deren **lm 100** ent-

hält, haben würde, oder daß beim Wasser, wo das Brechungsverhältniß eines aus Luft in Wasser übergehenden Strahles, wie 1 zu 0,77 oder wie 100 zu 77 ist, no 77 solche Theile hat, deren lm 100 enthält.

Das Gesetz der Brechung ist also, daß nicht der Winkel, welchen der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe macht, zu dem Winkel, den der gebrochene Strahl mit dem Einfallslothe macht, einerlei Verhältniß bei allen verschiedenen Richtungen des einfallenden Strahles behält, sondern dieses immer gleiche Verhältniß findet zwischen den nach der vorigen Regel bestimmten senkrechten Linien, die man die Sinus jener Winkel nennt, statt. Wenn der Strahl BA nur einen kleinen Winkel mit dem Einfallslothe macht, so kann man beim Glase ungefähr sagen, daß auch der Winkel HAG selbst nach der Brechung zwei Drittel des Winkels BAC ist, weil bei kleinen Winkeln das Verhältniß der Winkel selbst nicht viel von dem Verhältnisse jener Senkrechten LM, NO, oder von dem Verhältnisse der Sinus der Winkel verschieden ist; aber bei größern Winkeln darf man diese Verwechselung nicht mehr gelten lassen, sondern muß das Verhältniß auf jene senkrechten Linien beziehen. Ich bemerke übrigens hier, daß man der einfachen Zahlen wegen das Brechungsverhältniß für Glas wie 1 zu $\frac{2}{3}$ oder wie $1\frac{1}{2}$ zu 1, und ebenso für Wasser wie 1 zu $\frac{3}{4}$ oder wie $1\frac{1}{3}$ zu 1, anzugeben pflegt, obgleich diese Zahlen nicht ganz genau sind; da wo eine strenge Richtigkeit erforderlich ist, muß man die genaueren Zahlen, die bei verschiedenen Glas-Arten bedeutend verschieden sind, dafür setzen. Uebrigens wird die Richtung des aus dem stärker brechenden Körper, aus dem Glase zum Beispiel, hervorgehenden Strahles nach derselben Regel, wie die Richtung des eindringenden Strahles, bestimmt, nur ist dann n und folglich no bekannt, und man muß l auf dem Kreise so suchen, daß lm anderthalb mal so groß, als no sei *).

Ich muß hier doch sogleich noch eine Bemerkung einschalten, die sich auf die Bestimmung der Brechung bei krummen Oberflächen bezieht. Es ist ziemlich von selbst klar, daß wir einen kleinen Theil

*) Eine dabei in gewissen Fällen vorkommende Schwierigkeit werde ich etwas später erwähnen.

der krummen Oberfläche zunächst um den Punct, wo der einfallende Strahl diese trifft, als eben ansehen können, und daß daher die dort berührende Ebne uns die Lage desjenigen sehr kleinen Theiles der gekrümmten Fläche, auf den es hier ankömmt, darstellt. Wir müssen daher auch bei einer krummen Fläche das Einfallsloth, die Linie, welche an dieser Stelle senkrecht gegen die Oberfläche ist, ziehen und in Beziehung auf dieses den Winkel nach der Brechung aus dem Einfallswinkel ganz so wie bei einer Ebne bestimmen.

Mittel die Stärke der Brechung zu bestimmen.

Obgleich das Prisma uns das angemessenste Mittel darbietet, um die Stärke der Brechung für verschiedene Körper zu bestimmen, so ist es doch wohl nicht ganz unpassend, auch einige einfachere Mittel, deren man sich in frühern Zeiten, um diesen Zweck zu erreichen, bedient hat, hier anzuführen. Diese Mittel, wenn sie auch keine vollkommene Genauigkeit gestatten, sind doch darum bemerkenswerth, weil sie sich so unmittelbar an die einfachste Erscheinung anschließen und deshalb am besten zur Erläuterung des bisher Angeführten dienen. — Stellen Sie sich einen eingetheilten Kreis vor, um dessen Mittelpunct sich zwei verschiedene Regeln oder Lineale drehen lassen; dieser sei bis an seinen Durchmesser **AB** (Fig. 49.) in Wasser oder in diejenige Flüssigkeit, deren Brechungsvermögen man prüfen will, eingetaucht, und nun das eine Lineal **CD** auf eine bestimmte Zahl von Graden, zum Beispiel so gestellt, daß der Winkel **DCE** 12 Grad vom Einfallslothe **CE** an beträgt. Bringt man nun das außer dem Wasser befindliche Lineal **CF** in die Stellung, wobei man nach der Richtung **FC** den Punct **D** sieht, so ist **GCF** nicht 12, sondern für Wasser ungefähr 16 Grad, und für eine nicht allzu genaue Messung wird man selbst noch, wenn auch die Winkel größer werden, den Winkel **GCF** ziemlich genau in eben dem Verhältnisse größer finden. Hier bezeichnet **DC** den im Wasser fortgehenden Strahl, **CF** den gebrochenen aus dem Wasser hervorgegangenen Strahl; und man würde die Ungleichheit der Brechung, daß nämlich das Verhältniß der Winkel oder ihrer Sinus bei Wasser fast wie 3 zu 4, bei Terpentin-Oel beinahe wie 2 zu 3 ist, schon auf diese Weise wahrnehmen.

Ein andres Mittel ist die Beobachtung des Schattens. Man läßt durch eine kleine Oeffnung einen Sonnenstrahl (Fig. 50.) in ein dunkles Zimmer fallen, und beobachtet, indem er an der Spitze B der undurchsichtigen Wand A B vorbeigeht, wo er in C die Ebne A C erreicht. Hierauf stellt man an A B einen durchsichtigen Körper A D, z. B. einen Glaskörper, dessen obere Seite mit A C parallel ist, und beobachtet nun, daß der Lichtstrahl nicht nach C, sondern im Glase fortgehend nach E kömmt; und hierin ist wieder ein Mittel gegeben, um die Größe der Brechung zu finden, oder zu bestimmen, wie der Winkel, welchen der Strahl B C in der Luft mit dem Einfallslothe machte, von demjenigen verschieden ist, den der gebrochene Strahl B E mit eben dem Einfallslothe macht. Durch ähnliche Versuche ist das Gesetz, daß die Sinus jener Winkel bei allen Einfallswinkeln einerlei Verhältniß behalten, wenn die brechende Materie dieselbe bleibt, gefunden worden.

Einzelne Erscheinungen, die durch Refraction bewirkt werden.

Eine große Menge von Erscheinungen, die sich zum Theil uns täglich darbieten, erhalten schon aus dem bisher Angeführten ihre vollständige Erklärung, und auf einige derselben werde ich Sie wenigstens aufmerksam machen.

Wenn man einen graden Stab in geneigter Richtung in eine ebne Wasserfläche taucht, so erscheint er wie gebrochen, als ob der Theil im Wasser mit dem Theile außer dem Wasser einen Winkel machte. Denn, wenn das Auge von der Seite her gegen den Stab sieht, so erscheinen alle im Wasser befindlichen Theile des Stabes höher hinauf gerückt, und der untergetauchte Theil ist daher anscheinend weniger, als der nicht eingetauchte Theil, gegen die Oberfläche des Wassers geneigt. Und selbst wenn das Auge sich in der durch die Richtung des Stabes auf die Oberfläche des Wassers senkrecht gelegten Ebne befindet, gilt eben diese Betrachtung. Der vom Endpuncte A (Fig. 51.) kommende Lichtstrahl gelangt nämlich in der Richtung B O zum Auge O, weil er in B gebrochen wird, und da eben dies für alle übrigen Puncte D gilt, so sehen wir den Stab so verkürzt, als ob er sich in der Richtung H d a befände. Auch die Täuschung, als ob der Boden des Ge-

fäßes höher rücke, wenn man nach und nach mehr Wasser hinein gießt, läßt sich vollkommen erklären. Könnten wir (Fig. 52.) unsern Blick auf den Boden A des Gefäßes so beschränken, daß wir nur den einzigen Punct A ins Auge faßten, von welchem der senkrecht die Oberfläche DE treffende Strahl ABO in das Auge O kömmt, so würden wir nichts bemerken, das eine Brechung verriethe; denn dieser senkrecht auf die brechende Ebne DE treffende Strahl geht ungebrochen durch. Aber da unser Blick immer noch mehr Puncte mit umfaßt, die etwas seitwärts liegen, so bemerken wir, daß der gebrochene Strahl OG unter einem etwas größern Winkel gegen AO geneigt ist, als es, ehe Wasser eingegossen ward, für den ungebrochenen Strahl FO der Fall war; der Raum AF erscheint uns daher unter eben dem Sehewinkel, als ob er bis an af heraufgerückt wäre, und unser Auge bemerkt dies schon bei Puncten, die auch nur wenig von der Senkrechten AO entfernt liegen. Und da bei der geringsten Bewegung des Auges, A selbst so sehr seitwärts zu rücken scheint, als ob er in a läge, so ist die Täuschung, als ob der Boden höher gerückt wäre, vollständig.

Eine andre Täuschung bietet sich uns darin dar, daß bei schwankender Oberfläche des Wassers sich die Gegenstände auf dem Boden des Wassers, oder alle die, welche sich unter dem Wasser befinden, zu bewegen scheinen. Es ist Ihnen bekannt, daß wir einen Körper für bewegt halten, wenn die gegen ihn hin gezogene Richtungslinie eine andre Lage annimmt, oder wie wir hier es ausdrücken müssen, wenn der von ihm zu unserm Auge gelangende Lichtstrahl in einer veränderten Richtung unser Auge erreicht; aber diese Richtung des zu uns gelangenden Lichtstrahles wird gewiß geändert, wenn die Oberfläche des Flüssigen bei ihren Schwankungen eine verschiedene Lage annimmt. Ich will dies nur für den (Fig. 53.) von A ausgehenden Strahl zeigen, der, so lange die Oberfläche horizontal bleibt, ungebrochen nach O zum Auge gelangt, weil er die Oberfläche senkrecht trifft; wenn die Oberfläche die Lage DE annimmt, so gelangt dieser Strahl AB nicht mehr zum Auge, sondern wird vom Einfallslothe BG abwärts in der Luft nach P gebrochen und ein andrer Strahl AH kömmt, bei H gebrochen, zum Auge, so daß dieses den Punct A nun so sieht, als ob er nach a fortgerückt wäre. Bei den abwechselnden Schwankungen der

Oberfläche scheint also A von seiner wahren Lage bald nach der einen bald nach der andern Seite fortzurücken.

Hieraus kann so gar eine scheinbare Verdoppelung eines und desselben Punctes entstehen. Denn wenn bei einer Wellenbewegung die Oberfläche in der Gegend um B horizontal, um H dagegen so geneigt ist, wie die Linie DE angiebt, so kommen in diesem Augenblicke zwei von A ausgehende Lichtstrahlen, AB ungebrochen und AH gebrochen ins Auge, und das Auge sieht den Gegenstand doppelt. Eine ähnliche Verdoppelung oder Vervielfachung der Bilder findet auch bei der Spiegelung in Wellen statt, und da beide Erscheinungen, die durch Brechung so wohl als die durch Spiegelung hervorgebrachte, ein Mittel geben, um die größte Neigung zu bestimmen, welche die Wellen-Oberfläche irgendwo annimmt; so ist es wohl nicht unzweckmäßig, dabei noch einen Augenblick zu verweilen. Wenn die Oberfläche (Fig. 54.) DE horizontal ist, so sieht das Auge O den leuchtenden Punct A auf die sehr bekannte Weise in B gespiegelt; aber wenn die Oberfläche die Lage FG annimmt, so rückt der Reflexionspunct nach C hin und kömmt also dem Auge viel näher, und auch hier ist es nur nöthig, daß ein kleiner Theil der Wellen-Oberfläche in C diese Lage habe, so erscheint in C ein zweites Bild, der Punct A wird zugleich in a und a^1 gesehen. Wegen der sehr mannigfaltigen Lage der einzelnen Theile der Wellen-Oberfläche zeigen sich dem Auge gewöhnlich noch mehrere Bilder und die ganze Wellenfläche scheint uns bis auf einen weiten Umfang hinaus einen verworrenen Widerschein der Sonne zu geben; aber die Beobachtung der Grenze, bis zu welcher dieser Widerschein sich erstreckt, giebt die am meisten geneigte Richtung der Oberfläche an, und giebt uns also eine Bestimmung über die Form der Wellen, nämlich wie stark der am meisten geneigte Theil der Oberfläche von der horizontalen Ebne abweicht *).

Endlich mag hier noch ein kleines Experiment, wobei sich gleichfalls eine Verdoppelung der Bilder zeigt, erwähnt werden.

---

*) Spooner, der dieses Wellenbild Kümatage nennt, findet, daß die Wellen des nur mäßig aufgeregten Meeres doch eine Neigung der Oberfläche, die bis auf 25 Grade geht, darbieten. **De Zach Corresp. astronomique. VII. 66.**

Wenn man zwei Stecknadeln in paralleler Richtung in einem Brettchen feststeckt, und nun dieses Brettchen so ins Wasser taucht, daß die obere Nadel das Wasser berührt, die untere aber eingetaucht ist, so sieht man, indem man das Auge so stellt, daß die untere Nadel von der obern verdeckt sein sollte, die untere verdoppelt. Der Versuch gelingt nur, wenn die obere Nadel benetzt ist und das Wasser vermöge der Anziehung neben ihr etwas gehoben ist. In diesem Falle wird der von der Nadel **B** seitwärts gehende Strahl **BC** in der gekrümmten Oberfläche, die in **C** eine gegen **CD** senkrechte Richtung hat, (**Fig. 55.**) gebrochen, so daß er nicht grade nach **E**, sondern gebrochen nach **O** fortgeht; das Auge in **O** sieht daher die Nadel in der Richtung **OC**, als ob sie in **b** läge, und aus ganz gleichen Gründen erscheint auch an der andern Seite von **B** ein Bild der Nadel, und diese erscheint doppelt, obgleich sie, ohne Hülfe dieser gekrümmten Oberflächen durch die Nadel **A** verdeckt sein würde.

Weg des Lichtstrahls, wenn er durch verschiedene Körper geht, deren Trennungsflächen alle parallel sind.

Ich habe bisher nur von dem Brechungsverhältnisse, das beim Uebergange aus Luft in irgend einen andern durchsichtigen Körper statt findet, geredet, aber wenn man für zwei Körper dieses kennt, so läßt sich auch auf die Brechung des von einem dieser Körper in den andern übergehenden Strahles schließen. Bleiben wir bei den einfachen Zahlen **1** zu $\frac{3}{4}$ für Wasser, **1** zu $\frac{2}{3}$ für Glas stehen, so zeigt die Erfahrung, daß das Brechungsverhältniß beim Uebergange aus Wasser in Glas wie $\frac{3}{4}$ zu $\frac{2}{3}$, oder was eben dasselbe ist, wie **9** zu **8** oder wie **1** zu $\frac{8}{9}$ statt findet. — Theoretische Betrachtungen, die ich hier noch nicht anführen kann, lassen schließen, daß es so sein muß. —

Nach diesem Gesetze läßt sich nun zuerst für parallele Oberflächen der ganze Weg des Strahles zeichnen. Es sei (**Fig. 56.**) **ABCD** Glas, in welches der Strahl **EF** eintritt, so muß **NO** = $\frac{2}{3}$ **LM** sein, um die richtige Richtung des Strahles **FG** im Glase zu erhalten. Bei **G** trete der Strahl in Wasser über, so muß **no** = $\frac{9}{8}$ **lm** sein; und **GH** ist dann der richtig gezeichnete Strahl. Bei **H** trete der Strahl durch die Ebne **PQ** wieder in die Luft her-

vor, so ist $n^r o^r = \frac{4}{3} . l^r m^r$, und es läßt sich nun leicht zeigen, daß, wenn alle Trennungsflächen parallel waren, der wieder in die Luft hervorgegangene Strahl eine mit dem einfallenden Strahle parallele Richtung erlangt hat *). Allemal also wird der durch eine Folge von Körpern gegangene Strahl, wenn alle Trennungsflächen parallel waren, seiner anfänglichen Richtung parallel, wenn er wieder in dasjenige brechende Mittel, in dieselbe Art von Körper gelangt, aus welcher er in jene Schichte übergegangen war.

Wenn der Lichtstrahl durch einen dünnen, von parallelen Ebnen begrenzten brechenden Körper geht, so bemerken wir die Brechung fast gar nicht, weil die geringe Abweichung der Linie **CD** (Fig. 57.) von der **AB** in diesem Falle, wenigstens dem mit keinen messenden Werkzeugen ausgestatteten Auge, nicht merklich wird. Bei großer Dicke einer Glasscheibe bemerken wir dagegen allerdings, daß der Gegenstand uns in einer veränderten Stellung erscheint, indem bei einer solchen Dicke, wie der Körper bei **HG** hat, die Richtung **HI**, obgleich parallel mit **FG**, auf einen andern Punct, als auf **F**, wo der leuchtende Punct sich befindet, hinweiset.

Brechung im Prisma. Anwendung desselben, um das Brechungsverhältniß zu finden.

Um die Brechung deutlicher zu beobachten und um ihre Größe abzumessen, dient, wie ich schon früher obenhin erwähnt habe, das Prisma. Gewöhnlich bedient man sich des dreiseitigen Prisma's, eines Körpers, dessen Grundflächen parallele Drei-Ecke sind, und dessen Seitenlinien unter einander parallel und gewöhnlich senkrecht gegen die dreiseitigen Grundflächen sind; indeß kömmt es nur darauf an, daß zwei Seitenflächen unter einem nicht zu kleinen Winkel gegen einander geneigt sind; statt der dritten Seitenfläche könnten zwei oder mehr Seitenflächen da sein. Das Prisma wird so gehalten, daß der Lichtstrahl ziemlich nahe senkrecht gegen die des

---

*) Wenn ich nämlich alle jene Kreise gleich zeichne, so ist

$$n^1 o^1 = \frac{4}{3} l^1 m^1 = \frac{4}{3} no,$$

$$\text{aber } no = \frac{9}{8} . lm = \frac{9}{8} NO,$$

$$\text{also } n^1 o^1 = \frac{3}{2} NO = LM.$$

Prisma's Länge darstellenden Ecklinien ist, und ich habe daher nur nöthig, den dreiseitigen Querschnitt des Prisma's **ZXY** zu zeichnen. Fällt nun hier ein Lichtstrahl in der Richtung (Fig. 58.) **AB** auf, so wird er innerhalb des dichteren Körpers nach **BC** gebrochen fortgehen, und in **C** abermals gebrochen die Richtung **CD** annehmen, so daß ein Auge in **D** den Gegenstand **A** in der Richtung **DE**, anscheinend weit von seinem wahren Orte weggerückt, sieht. Wenn das Prisma von einem Glase ist, bei dem das Brechungsverhältniß **1** zu $\frac{2}{3}$ statt findet, so zeichnet man den Weg des Lichtstrahles genau, wenn man um **B** einen Kreis zeichnet und die Senkrechte **LM** auf das Einfallsloth **OBE** zieht, dann aber **NO** $= \frac{2}{3}$ **LM** nimmt, um die Richtung des Strahles **BC** zu bestimmen. Ebenso zeichnet man wieder in **C** das Einfallsloth **n1**, und den Kreis, in welchem nun **1m** $= \frac{3}{2}$ **no** genommen wird. Es erhellt hier leicht, daß die Größe der durch das Prisma beobachteten Brechung bei gleichem Einfallswinkel von dem Winkel **Z**, den man den brechenden Winkel des Prisma's nennt, abhängt, indem sie geringe ist, wenn **Z** eine sehr geringe Größe hat. Aber auch ein zweites Gesetz läßt sich leicht übersehen, nämlich, daß die gesammte Ablenkung des Strahles für einen bestimmten Winkel **Z**, das heißt, wenn man immer dasselbe Prisma anwendet, dann am kleinsten wird, wenn der im Innern des Prisma's fortgehende Strahl **BC** (Fig. 59.) ein Drei-Eck, dessen Seiten **ZB** $=$ **ZC** gleich sind, abschneidet. In diesem Falle nämlich sind offenbar die Brechungen bei **B** und **C** gleich, der Winkel, den **BC** mit **AB** macht, ist ebenso groß als der, den **BC** mit **CD** bildet. Man kann nun sich zwei wenig von **AB** abweichende Lichtstrahlen **aB** und $\mathbf{a^1B}$ denken, die grade so gewählt sind, daß der eine **cd** nach der Brechung ebenso geneigt gegen die zweite Fläche sei, als der zweite $\mathbf{a^1B}$ gegen die erste Fläche; diese beiden Strahlen erleiden, obgleich sie an verschiedenen Seiten von **AB** liegen, dennoch eine gleiche gesammte Brechung, indem **aB** in der ersten Fläche mehr als **AB**, aber in der zweiten Fläche weniger als **AB** gebrochen ist, und für $\mathbf{a^1B}$ das Umgekehrte genau in eben dem Maaße statt findet. Der Fall, wo **BC** gleiche Winkel mit **ZB**, **ZC** macht, ist also ein solcher, von welchem an, man mag von dem Strahle **AB** zu **aB** oder zu $\mathbf{a^1B}$ übergehen, die Aenderung

der gesammten Brechung dieselbe ist; aber bei der Vergrößerung des Winkels, den **aB** mit dem Einfallslothe macht, beträgt die Zunahme der Brechung mehr, als die Verminderung der Brechung bei der Verkleinerung des Winkels, den **cd** mit dem Einfallslothe macht, und daher ist die Richtung **cd** mehr von der Richtung **aB** verschieden, als **CD** von **AB** verschieden war, und eben das gilt aus denselben Gründen für den Strahl $a^1 B c^1 d^1$, der auch mehr als **ABCD** gebrochen wird *).

Ich glaubte bei diesem Falle der kleinsten Brechung etwas länger verweilen zu müssen, theils weil wir in der Folge Erscheinungen kennen lernen, die sich auf die Kenntniß dieses Falles beziehen, theils weil überhaupt die nähere Erwägung solcher Fälle, wo ein Größtes oder Kleinstes hervorgeht, schon an und für sich eine Merkwürdigkeit darbietet. Wenn man die auf das Prisma einfallenden Strahlen **AB** (Fig. 59.) alle Winkel mit der Ebne **BZ** durchlaufen läßt, so erhellt aus jeder Zeichnung, die den eben vorhin erwähnten Regeln gemäß ausgeführt wird, daß der unter einem kleinen Neigungswinkel gegen die Ebne oder unter einem großen Einfallswinkel gegen das Neigungsloth einfallende Strahl bei **B** stark, bei **C** wenig gebrochen wird; nimmt der Winkel **ABG** zu, so werden beide Brechungen immer mehr gleich, endlich ist diese Gleichheit erreicht, und bei noch fortgehender Vergrößerung des Winkels **ABG** kommen nun die vorigen Fälle in umgekehrter Ordnung wieder, weil das jetzt an der andern Seitenfläche statt

---

*) Ein Zahlenbeispiel wird dies vollkommen erläutern. Das Prisma habe bei **Z** einen Winkel von 60 Graden, so ist die gesammte Brechung am kleinsten, wenn **BC** mit **BZ** und **CZ** Winkel von 60 Graden macht, aber damit das geschehe, muß $ABG = DCH = 41^0.25'$ sein; macht dagegen **aB** einen Winkel $aBG = 40^0.25'$, so macht **Bc** mit **BZ** einen Winkel von $59^0.30'$, also **Bc** mit **cZ** einen Winkel von $60^0.30'$, und der gebrochene Strahl **cd** ist gegen die Seite **cZ** unter einem Winkel von $42^0.23'$ geneigt, das ist, während **aB** von **AB** um 1 Grad abweicht, hat **CD** seine Richtung **cd** nur um 58 Minuten geändert, und diese letzte Aenderung gleicht die erstere nicht ganz aus, sondern die Brechung ist vergrößert. Wäre $a^1 BG = 42^0.25'$, so würde dagegen $d^1 c^1 H = 40^0.23'$, und die Ablenkung, die für den Fall der kleinsten Brechung $37^0.10'$ betrug, macht hier $37^0.12'$.

findet, was vorhin an der ersten Seitenfläche eintrat. Ueberall wo ein solcher Uebergang durch einen Mittelfall zu eben den in umgekehrter Ordnung wiederkommenden Fällen statt findet, da ist dieser Mittelfall ein Fall des Größten oder Kleinsten und eine nähere Betrachtung der Umstände entscheidet meistens ziemlich leicht, welches von beiden, ob ein Größtes oder Kleinstes, hier eintritt.

Um aber Ihnen nun für diese theoretische Betrachtung, die vielleicht etwas trocken ist, auch eine practische Erläuterung zu geben, bitte ich Sie, das Glasprisma in die Hand zu nehmen und, indem sie hindurch sehen, den brechenden Winkel nach unten zu halten; dann müssen Sie stark unterwärts das Auge richten, um Gegenstände, die ebenso hoch als das Auge liegen, zu sehen. Drehen Sie nun das Prisma so, daß der brechende Winkel bald unten, bald etwas hinaufgerückt ist, so sehen Sie einen einmal ins Auge gefaßten Punct bald hinauf, bald wieder herab rücken, und wenn er seine höchste scheinbare Stellung hat, das ist, wenn er am wenigsten von seinem wahren Orte entfernt scheint, wenn die gesammte Brechung am kleinsten ist, so können Sie das Prisma schon erheblich drehen, ohne daß eine Aenderung in der scheinbaren Richtung für diesen Punct auffallend wird. Dieses ist dann eben die Stellung, die wir vorhin betrachteten, die man daher leicht mit ziemlicher Genauigkeit auffindet, wenn man auf einen bestimmten Punct achtet und bei der langsamen Drehung des Prisma's die Stellung wahrnimmt, wo das scheinbare Steigen jenes Punctes in ein Herabgehen übergeht.

Das Prisma bietet uns eine Erscheinung dar, die gewöhnlich am allermeisten durch ihre große Schönheit unser Auge auf sich zieht, die Erscheinung der Farben; aber von dieser müssen Sie mir erlauben, jetzt noch nicht zu reden, sondern Sie nur auf einen Gebrauch des Prisma's, wobei freilich Farben hervorgehen, aufmerksam zu machen, der eine anders angeordnete Wiederholung des vorigen Versuches ist. Wenn man einen Sonnenstrahl durch eine kleine Oeffnung in ein dunkles Zimmer fallen läßt, und diesen Lichtstrahl auf einem Prisma auffängt, so sieht man, daß der hervorgehende Strahl an der andern Seite des Prisma's eine ganz veränderte Richtung hat, und wenn man das Prisma dreht, so findet man leicht die Stellung, in welcher die hervorgebrachte Ab-

lenkung von der ursprünglichen Richtung die geringste ist. Der erleuchtete Raum **L** rückt (**Fig. 60.**) bei der Drehung des Prisma's herauf oder herab; aber die tiefste Stellung **l** erreicht er dann, wenn der im Innern des Prisma's fortgehende Lichtstrahl die Seitenflächen unter gleichen Winkeln trifft, und wenn man diese Stellung des Prisma's erreicht hat, so kann man etwas weiter fort oder etwas zurück drehen, ohne die Lage des Bildes merklich zu ändern.

Diese Lage ist auch für genaue Bestimmung der Brechung die vortheilhafteste, weil, wenn man den Winkel des Prisma's und die Ablenkung des Strahles kennt, wegen der Gleichheit beider Brechungen, die Größe der Brechung an jeder der beiden Flächen so leicht bestimmt wird. Die beste Art, diese Stärke der Brechung genau abzumessen, ist die von Fraunhofer angewandte, wo eine sehr entfernte Lampe, die so verdeckt war, daß nur durch eine kleine Oeffnung **A** das Licht auf das Prisma fiel, (**Fig. 61.**) den Strahl **AB** auf dieses sandte, das Prisma aber nahe vor einem Fernrohre stand und so gestellt wurde, daß der Lichtstrahl im Fernrohr nach **L** zu ins Auge kam. Wenn nun dieses Fernrohr auf einem eingetheilten Kreise befestiget ist, und man auf der Gradtheilung des Randes so wohl die Richtung **LM** des gebrochenen Lichtstrahles als die Richtung der Linie **CA** ablieset, so läßt sich mit Hülfe der mehrere hundert Fuß betragenden Entfernung **CA** und der nur wenige Zolle betragenden Entfernung **CB**, die Größe der Brechung mit einer vollkommenen Genauigkeit finden. Dieses Mittel, die Stärke der Brechung oder das Maaß des Brechungsverhältnisses zu finden, ist besonders bei den verschiedenen Glas-Arten wichtig, weil wir für sie, um sie zu guten Fernröhren anzuwenden, die Brechung in hohem Grade genau kennen müssen; aber anwendbar ist es bei allen Substanzen, die sich zu Prismen von hinreichender Größe schleifen lassen. Selbst für flüssige Körper ist diese Methode brauchbar, nur muß man dann ein Prisma aus fest verbundenen Glasscheiben, um die Flüssigkeit hineinzubringen, besitzen, oder die in der Höhlung **ABDC** (**Fig. 62.**) enthaltene Flüssigkeit mit zwei Glasplatten **AB**, **CD**, so daß keine Luft irgendwo übrig bleibt, verschließen, und den Winkel (etwa mit Hülfe des Reflexions-Winkelmessers) abmessen, welchen diese mit einan-

der machen. Die den flüssigen Körper einschließenden Glasplatten müssen genau an beiden Seiten parallel geschliffen sein, und ob sie das sind, erkennt man daran, daß der Gegenstand, den man durch das bloß mit Luft gefüllte Prisma sieht, in unveränderter Richtung, ebenso als wenn das Prisma ganz weggelassen wird, erscheint; wenn dieses nicht der Fall ist, so haben die Glasscheiben selbst eine etwas prismatische Form und man erhält daher bei der Beobachtung der Brechung durch das mit Flüssigkeit gefüllte Prisma die Brechung durch diese etwas fehlerhaft. Um aber doch die Unsicherheit, die aus den Farben hervorgeht, welche sich im Prisma zeigen, hier nicht ganz unerwähnt zu lassen, muß ich noch die Bemerkung beifügen, daß man bei solchen Messungen immer auf eine und dieselbe Farbe die Messung richten muß. Sie werden in der Folge sehen, mit welcher Genauigkeit sich die dann hervorgehenden Bestimmungen angeben lassen.

Selbst die Luft, so fein sie auch ist, bringt dennoch eine Brechung des Lichtes hervor, deren Kenntniß besonders dem Astronomen wichtig ist, und auch diese Brechung läßt sich mit Hülfe des hohlen Prisma's bestimmen. Macht man nämlich die Höhlung **AD** so klein, daß beim Auspumpen der Luft aus derselben kein Zerbrechen und keine bedeutende Krümmung der Glasscheiben **AB**, **CD** zu befürchten ist, so kann man durch einen seitwärts angebrachten Hahn mit Hülfe der Luftpumpe diesen Raum luftleer machen; der bei **CD** eindringende Lichtstrahl wird dann, indem er in verdünnte Luft oder in einen beinahe luftleeren Raum übergeht, ein wenig vom Einfallslothe abwärts, und indem er bei **AB** wieder in die dichtere Luft gelangt, ein wenig gegen das Einfallsloth zu gebrochen, und so wenig dies auch beträgt, so haben doch Biot und Arago aus solchen Versuchen die Brechung bei dem Uebergange aus dem leeren Raume in die Luft genau bestimmt. Die Brechung in künstlichen Luft-Arten haben eben diese Beobachter dadurch kennen gelehrt, daß sie jenen mit Glasplatten geschlossenen Raum mit diesen Luft-Arten füllten.

Zur Bestimmung der Brechung in Körpern, die zu klein oder unregelmäßig geformt oder nicht vollkommen durchsichtig sind, werden wir noch andre Mittel kennen lernen.

Zurückwerfung, die statt der Brechung eintritt.

Eine sehr merkwürdige Erscheinung bietet sich uns noch beim Gebrauche des Prisma's dar, die überraschend schöne Spiegelung in der Hinterseite des Prisma's; und diese Erscheinung ist desto merkwürdiger, da sie in einem Umstande, den die theoretische Ueberlegung uns kennen lehrt, ihren Grund hat. Ehe ich auf diesen komme, muß ich einen andern Umstand erwähnen, der zwar bei jener Zurückwerfung mitwirkend, aber doch nicht die Hauptsache ist. Ein jeder durchsichtiger Körper wirft auch von seiner Hinterseite Lichtstrahlen zurück, und gewährt uns also auch von ihr aus eine Spiegelung; dieses bemerken wir auch an dem Prisma, indem, wenn dieses zum Beispiel auf einem beschriebenen Papiere liegt, diese Schrift bei verschiedenen Stellungen des Auges O durch das Prisma sichtbar ist, aber dennoch auch andre in der Gegend A liegende Gegenstände sich uns in einem matten Spiegelbilde in der Seite DE zeigen. (Fig. 63.) Ein solches mattes Bild sehen wir in DE bei allen nicht zu niedrigen Stellungen des Auges; aber wenn nun das Auge O immer mehr und mehr herab rückt, so gelangt es endlich zu einem Puncte, wo die unter DE liegende Schrift gar nicht mehr gesehen wird, die Gegenstände bei A aber wie in der vollkommensten Spiegelfläche mit dem vollsten Lichte abgebildet erscheinen. Die Erscheinung bietet sich uns leicht und ungesucht dar; aber sie wird uns am verständlichsten, wenn wir auf theoretischem Wege zu ihr gelangen und daher eine andre Reihe von Betrachtungen, die Sie schon kennen gelernt haben, weiter verfolgen.

Die Regel, nach welcher wir den in das Glas eintretenden und den aus dem Glase austretenden Strahl durch Zeichnung zu bestimmen gelernt haben, scheint zu dieser Bestimmung vollkommen ausreichend und ist es auch wirklich bei dem Eintritte in einen dichteren Körper, aber nicht in allen Fällen bei dem Austritte aus demselben. Um sogleich bei dem Prisma zu bleiben, sei AB (Fig. 63.) ein einfallender Strahl, der wenig von dem Einfallslothe BC abweicht; er igeht mit geringer Brechung nach BG fort, und, um seine Richtung beim Heraustreten zu finden, zeichnen wir den Kreis, nehmen das $1\frac{1}{2}$ fache der LM, um einen Punct des Krei-

ses zu suchen, der so weit von dem Einfallslothe entfernt ist, und uns die Richtung des gebrochenen Strahles angeben sollte; aber der Kreis hat gar keinen so weit als N entfernten Punct, wenn $GN = \frac{3}{2} LM$ ist, und ein ausfallender Strahl kann nach unsrer Regel nicht gezeichnet werden. Der Grund davon ist auch leicht einzusehen. Wäre der Strahl so wie aB eingefallen, so wäre er in der Richtung Bd nach d gekommen und es hätte sich der Regel gemäß der ausfallende Strahl dq noch zeichnen lassen; aber er hätte eine so wenig von der Ebne DE abweichende Richtung erhalten, daß man wohl einsieht, ein noch weniger als Bd gegen diese Ebne geneigter Strahl könne gar nicht mehr hervordringen. Und diese Strahlen nun, die gebrochen nicht mehr hervordringen können, werden nicht bloß theilweise, sondern ganz zurückgeworfen, und ein Auge in H sieht den Gegenstand A mit dem vollen Lichte, das nur der schönste Spiegel gewähren kann, statt daß andre Gegenstände, deren meiste Strahlen aus dem Glase hervorgehend nach q gelangen, nur vermittelst der unbedeutend wenigen Strahlen, die allemal reflectirt werden, einem in der Gegend O stehenden Auge sichtbar werden.

Wenn man umgekehrt den Weg der von Q oder q ausgehenden Lichtstrahlen verfolgt, so überzeugt man sich leicht, daß ein Auge in A keinen dieser Puncte sehen kann; denn welchen von Q ausgehenden Lichtstrahl, Qd, Qd^r, man nehmen mag, alle werden so gebrochen, daß sie über A weggehen, keiner nach A, keiner also zu dem in A befindlichen Auge gelangt; dieses Auge in A sieht daher die unter DE liegende Schrift auf dem weißen Papiere, die bei unserm Versuche diesen Platz einnahm, nicht mehr; aber Gegenstände bei H erscheinen mit vollem Lichte gespiegelt. Diese Spiegelbilder sind von so sehr großem Glanze, weil mit dem wenigen Lichte, das sonst schon, als ein mattes Spiegelbild darstellend, reflectirt wurde, sich nun alle die Strahlen verbinden, die sonst gebrochen hervorgingen und deshalb ein geringerer Lichtverlust als fast in irgend einem andern Falle statt findet.

Aber jener Versuch, daß die unter DE liegende Schrift unsichtbar wurde, wenn man dem Auge eine zu niedrige Stellung gab, läßt sich noch auf eine zweite Weise wiederholen, die eine neue Ueberraschung darbietet. Auf jene Schrift lasse man einen

mäßigen Tropfen Wasser fallen und lege nun das Prisma wieder auf, so sieht das Auge A an den benetzten Stellen die untenliegende Schrift, und die schöne Spiegelfläche, die in den unbenetzten Stellen sich noch ebenso zeigt, erscheint an den benetzten Stellen durchlöchert. Der Grund ist nicht schwer einzusehen. Wenn der von Q ausgehende Strahl sogleich bei Q in Wasser eintritt, und aus dem Wasser bei d in Glas übergeht, so wird er nur wenig gebrochen und gelangt daher nicht nach a, sondern nach A, das Auge A sieht die in Q aufgezeichneten Buchstaben; dagegen sieht es nun die Gegenstände bei H schlecht gespiegelt, indem der von H kommende Lichtstrahl HG bei G in das Wasser eindringend hervorgeht, da die Brechung beim Uebergange in Wasser nur fordert, daß der Sinus des Winkels nach der Brechung $\frac{9}{8}$ vom Sinus des Winkels vor der Brechung sei, was den Strahl zwar nahe an GE bringt, aber doch zeigt, daß er allerdings in das Wasser eindringt, also nicht zurückgeworfen wird.

Und um diesen Versuch nun ganz zu benutzen, muß ich noch zweierlei beifügen. Erstlich, nachdem der Wassertropfen angebracht und dadurch die unten liegende Schrift dem Auge A sichtbar geworden ist, geben Sie dem Auge eine noch niedrigere Stellung, so tritt die vollkommene Spiegelung und das Unsichtbarwerden jener Schrift abermals ein, aus dem sehr begreiflichen Grunde, weil bei sehr weit vom Perpendikel abweichenden Richtungen des Lichtstrahls selbst die Vergrößerung des Sinus von 1 auf $\frac{9}{8}$ nicht mehr statt findet. Zweitens, wenn man neben einander, aber getrennt, einen Wassertropfen und einen Tropfen Terpentin-Oel anbringt, so muß man das Auge noch viel tiefer als für den Wassertropfen herabbringen, damit das abermalige Verschwinden der Buchstaben bei Q für den Tropfen Oel eintrete, ja es kann das Prisma von einer Glas-Art sein, wo dies zweite Verschwinden beinahe gar nicht mehr in der Gegend, wo sich das Terpentin-Oel befindet, hervorzubringen ist. Diese Flüssigkeit steht nämlich dem Glase in Rücksicht auf die Brechung viel näher als das Wasser, und der von Q im Terpentin-Oel kommende Strahl geht daher beinahe durchaus ungebrochen in das Glas hinein, so daß auch in sehr niedrigen Stellungen dennoch das Auge diese Lichtstrahlen empfängt.

Bestimmung der Stärke der Brechung bei unpolirten, unregelmäßigen durchsichtigen Körpern.

Zum Schlusse dieser Betrachtungen knüpfe ich hieran noch einen andern Versuch. Sie wissen, daß die an sich durchsichtigen Körper die Eigenschaft haben, daß sie undurchsichtig werden, wenn man ihnen eine rauhe, eine matt geschliffene Oberfläche giebt. Dies hat darin seinen Grund, weil die die Oberfläche treffenden Strahlen an dieser aus unregelmäßigen Theilen zusammengesetzten Oberfläche so mannigfaltig gebrochen und zurückgeworfen werden, daß die Strahlen durchaus nicht regelmäßig zum Auge gelangen. Diese unregelmäßige Brechung hört auf, wenn der Körper von einer ebenso stark brechenden Flüssigkeit umgeben ist, und die Erfahrung zeigt, daß alsdann auch die schwache Reflexion, die beim Uebergange des Lichtstrahls aus Glas in Luft, und schon weit schwächer bei dem Uebergange aus Glas in Wasser statt findet, gänzlich aufhört; es kann uns daher nicht wundern, wenn wir ein in Wasser getauchtes mattgeschliffenes Glas seine Durchsichtigkeit einigermaßen wieder erlangen sehen, und beim Eintauchen in Terpentin-Oel, welches die Lichtstrahlen fast ebenso stark bricht als das Glas, die Durchsichtigkeit fast völlig hergestellt finden.

Diese Erfahrung leitet auf ein Mittel, um die Brechung für diejenigen durchsichtigen Körper zu bestimmen, die entweder nur in kleinen Stücken vorhanden sind, oder deren Oberflächen unpolirt sind. Findet man für diese eine Flüssigkeit oder eine Mischung von Flüssigkeiten, die ihnen ihre volle Durchsichtigkeit giebt, so kann man sicher sein, daß die Flüssigkeit das Licht ebenso stark, als der feste Körper, bricht. Brewster, der diesen so nahe liegenden Gedanken zuerst öffentlich ausgesprochen hat, bemerkt hiebei, daß hierin ein Mittel liege, um in ungeschliffenen Edelsteinen die etwa vorhandenen Spalten und Unregelmäßigkeiten, die im Innern die Durchsichtigkeit hindern, zu entdecken. Denn da der Lichtstrahl an der Oberfläche des in eine solche, gut gewählte Flüssigkeit eingetauchten Minerals kein Hinderniß seines Fortganges findet, so sieht man nun die im Innern sich befindenden Spalten oder andern Unterbrechungen der gleichförmigen Bildung.

Siebente Vorlesung.

Die Linsengläser.

Wir machen einen so vielfachen Gebrauch von den kugelförmig geschliffenen Gläsern, von den Gläsern nämlich, deren Oberflächen Theile von Kugeln sind, daß sie vor allem unsre Aufmerksamkeit verdienen. Ich habe früher schon bemerkt, daß die Brechung in krummen Oberflächen ganz so wie in ebenen statt findet, wenn nur das Einfallsloth richtig gezogen ist; bei einer Kugelfläche ist aber dieses leicht zu bestimmen, da hier diejenige Linie, welche durch der Kugel Mittelpunct geht, senkrecht gegen die Oberfläche ist. Es wäre demnach gar nicht schwer, für jeden Punct der Kugel-Oberfläche den Weg des gebrochenen Lichtstrahles zu finden; aber da der Zweck aller unsrer aus solchen Gläsern, welche man Linsengläser, Glaslinsen, nennt, zusammengesetzten Instrumente nur so fern, als sie reine Bilder geben, erreicht wird, so wird die Zeichnung des Weges der Lichtstrahlen noch bedeutend erleichtert. Unsre Gläser nämlich sind von nur kleinen Theilen der Kugelfläche begrenzt, und da die Bogen **ADB**, **AEB**, deren Mittelpuncte (**Fig. 64.**) in **C**, **G**, liegen, nur wenige Grade umfassen und keine andre Lichtstrahlen, als welche beinahe mit der Linie **CG**, die man die Axe des Glases nennt, parallel einfallen, gebraucht werden, so kann man in einer Zeichnung den Winkeln selbst, denjenigen Winkeln nämlich, die zwischen dem Einfallslothe und dem Strahle liegen, das immer gleiche Brechungsverhältniß geben, welches genau genommen nicht den Winkeln, sondern ihren Sinus zukömmt.

Diese Linsengläser haben entweder die Wölbung nach auswärts gekehrt, wie es in **Fig. 64.** bei beiden Oberflächen der Fall ist, oder die Kugelfläche bietet eine Höhlung dar; in jenem Falle heißt die Oberfläche convex, in diesem Falle concav. Die Gläser können nun an beiden Seiten convex oder nur an einer Seite convex sein, während die zweite eben oder auch concav ist; oder die Verbindung zweier concaven Oberflächen oder einer con-

caven und ebenen kann statt finden, und hierauf beziehen sich die Namen: convex-convex, plan-convex, concav-convex, concav-concav, plan-concav. Wir wollen zuerst bei denen stehen bleiben, deren Oberflächen beide convex sind.

Wenn man den Durchschnitt eines solchen Glases (Fig. 64.) zeichnet, und einen leuchtenden Punct auf der durch beide Mittelpuncte C, G, gezogenen graden Linie, ziemlich entfernt annimmt, wenn man dann die Brechung an beiden Oberflächen den richtigen Gesetzen gemäß zeichnet, so findet man, daß die von einem solchen Puncte H vor dem Glase ausgehenden Strahlen sich fast genau in einem Puncte I hinter dem Glase vereinigen, daß sie also dort ein Bild des Punctes H darstellen, und wenn neben H andre Licht ausstrahlende Puncte h liegen, auch die von ihnen ausgehenden Strahlen ebenfalls Bilder geben, so daß in Ii ein Bild des Gegenstandes H h erscheinen muß. Dieses Ergebniß einer mit hinreichender Genauigkeit ausgeführten Zeichnung lehrt uns auch der Versuch kennen. Nehmen Sie ein Brennglas, oder ein gewöhnliches Brillenglas von der Art, wie ältere, allzu fernsichtige Personen es zum Lesen gebrauchen, und halten es parallel mit einer weißen Wand, während die Strahlen eines zehn oder mehr Fuß entfernten Lichtes darauf fallen, so werden Sie leicht die richtige Entfernung des Glases von der Wand treffen, um das umgekehrte Bild, eine kleine sehr helle Lichtflamme an der Wand zu sehen, — nicht bloß die umgekehrte Lichtflamme, sondern selbst den erhellten Theil des Talg- oder Wachslichtes selbst erkennt man deutlich. Wenn das Licht näher heran gerückt wird, so wird das Bild undeutlich, aber man hat nur nöthig, das Glas etwas weiter von der Wand zu entfernen, um abermals ein deutliches, nun etwas größeres Bild zu erhalten; und so kann man es fortsetzen, bis das immer mehr heran gebrachte Licht dem Glase eben so nahe ist, als dieses dem entstehenden Bilde an der Wand, dann sind Bild und Gegenstand gleich groß, und ein weiteres Heranrücken des Lichtes gegen die Wand gestattet nun kein Bild mehr. Aber wenn man das Licht wieder weiter von der Wand entfernt, und das Glas zugleich dem Lichte nähert, so erhält man ein Bild an der Wand, welches größer als das Licht ist; und man überzeugt sich bald, daß bei hinreichender Entfernung des Lichtes von der Wand zwei Stellungen des Glases statt finden, die ange-

messen sind, um ein Bild zu zeigen, eine Stellung der Wand nahe, wobei das Bild klein wird, eine Stellung dem Lichte nahe, wobei das Bild vergrößert erscheint; wenn das Licht der Wand so nahe steht, daß Bild und Gegenstand gleich werden, so ist die Grenze der Annäherung erreicht, und statt der zwei Stellungen des Glases findet nur noch diese eine statt.

Auf die übrigen Umstände, welche sich bei der Erscheinung der Bilder darbieten, brauche ich Sie kaum aufmerksam zu machen. Die Bilder sind sehr glänzend, sehr stark erleuchtet, wenn sie klein sind, dagegen von mattem Lichte, wenn sie groß sind; — offenbar deswegen, weil die ziemlich gleiche Menge Lichtstrahlen, in jenem Falle in einem kleinen Raume vereinigt, diesen Raum sehr lebhaft erleuchtet. Auch andre Gegenstände, zum Beispiel die Häuser, die sich in einiger Entfernung befinden, die Fenster des Zimmers, lassen sich am Tage, wenn die Gegenstände gut erleuchtet sind, so im Bilde darstellen; und bringt man das Glas an die zum Einlassen eines Lichtstrahles bestimmte Oeffnung im finstern Zimmer, so sieht man auf einer gehörig gestellten weißen Tafel alle vor dem Glase außerhalb liegenden Gegenstände mit lebhaftem Lichte und mit allen natürlichen Farben. Je weiter diese Gegenstände entfernt sind, desto näher rückt das Bild dem Glase, jedoch so, daß es selbst im äußersten Falle nicht weiter, als bis zu der Annäherung, die man die Brennweite nennt, heranrückt. Diese Brennweite, die Entfernung, in welcher die Sonnenstrahlen sich sammeln, und mit einem lebhaften Bilde zugleich eine große Erhitzung, ein Brennen, hervorbringen, findet man nahe genug, wenn man auch nur von Gegenständen, die tausend Fuß oder einige tausend Fuß entfernt sind, das Bild auffängt.

Diese Brennweite läßt sich sehr leicht theoretisch bestimmen, und wenigstens für einige Fälle kann ich auch hier, ohne über die Grenzen mathematischer Kenntnisse, die ich hier voraussetzen darf, hinauszugehen, diese Brennweite finden lehren. Es sei (Fig. 65.) ein plan-convexes Glas AB, auf dessen ebne Fläche die Sonnenstrahlen senkrecht auffallen, so gehen diese durch die Ebne AB ungebrochen ein, weil der senkrechte Strahl keine Brechung erleidet. Dieses findet für alle Strahlen, weil man sie als parallel einfallend ansehen kann, statt. An der zweiten Oberfläche aber werden die

Strahlen vom Einfallslothe abwärts gebrochen, und zwar beim Glase so, daß wenn ED der einfallende Strahl, CD das Einfallsloth ist, FDG nach der Brechung anderthalbmal so groß ist, als EDC vor der Brechung. Für Parallellinien ED, CG ist EDC = DCG, und also am Drei = Ecke der äußere Winkel GDF = $\frac{3}{2}$ GCD; damit ist aber, bei der hier angenommenen Kleinheit der Winkel, verbunden, daß CG = $\frac{3}{2}$ DG oder weil hier GH nur sehr wenig von DG verschieden ist, HG doppelt so groß als CH ist. Der Brennpunct G liegt also doppelt so weit hinter dem Glase, als der Mittelpunct C vor dem Glase, und in diesem Brennpuncte vereinigen sich diejenigen Strahlen am genauesten, die nur wenig von der Axe CG entfernt einfallen, die entfernteren würden, wenn man dem Glase eine zu große Breite gäbe, sich nicht genau in eben dem Puncte vereinigen und daher eine Erleuchtung in benachbarten Puncten, damit zugleich aber eine Undeutlichkeit des Bildes, bewirken.

Hätte man statt der Glaslinse eine Linse von andrer Substanz angewandt, so würde das Verhältniß der Winkel ein anderes. Bei Wasser, das in eine dünne Glashülle von eben der Gestalt eingeschlossen wäre, oder beinahe auch bei einer planconvexen Eislinse, würde GDF = $\frac{4}{3}$ GCD, und DG = $\frac{3}{4}$ CG, beinahe also HG = $\frac{3}{4}$ CG sein, das ist, da läge der Brennpunct G, wegen der viel schwächern Brechung, um 3 Halbmesser hinter dem Glase. Eine planconvexe Diamantlinse dagegen, wo das Brechungsverhältniß 1 zu $\frac{5}{2}$ ist, giebt den Winkel FDG^1 = $\frac{5}{2}$ DCG^1, und CG^1 = $\frac{5}{2}$ G^{1}D, oder CG^1 = $\frac{5}{2}$ G^{1}H, so daß G^{1}H nur $\frac{2}{3}$ CH wird, oder CH drei solche Theile, CG^1 fünf solche Theile enthält, deren zwei sich in G^{1}H finden. Eine Diamantlinse hat also eine sehr kurze Brennweite.

Wenn die Linse an beiden Seiten eine gleiche Convexität hat oder gleichseitig ist, so giebt — wenn es eine Glaslinse ist — ein Punct H der um den doppelten Halbmesser der Kugelfläche vor dem Glase liegt, (Fig. 64.) ein Bild I ebenso entfernt hinter dem Glase, indem dann der von H kommende Lichtstrahl im Innern der Linse mit der Axe parallel ist. Die Brennweite eines solchen Glases ist halb so groß oder dem Halbmesser der Kugelfläche gleich. In jedem andern Falle erhält man bei Glaslinsen die

Brennweite, wenn man die Zahlen, welche die Halbmesser beider Linsen angeben, in einander multiplicirt und mit der halben Summe der Halbmesser dividirt, und dieses ist genau für Gläser, deren Brechungsverhältniß 1 zu $1\frac{1}{2}$ ist.

Noch in einem zweiten Falle läßt sich der Punct, wo die Lichtstrahlen gesammelt werden, leicht finden, nämlich wenn ein großer Glaskörper nur an seiner Vorderfläche sphärisch gerundet ist, und die Lichtstrahlen sich innerhalb des Glases vereinigen, — ein Fall, der freilich auf diese Weise eben nicht vorkömmt. Hier wird (Fig. 66.) wenn C der Mittelpunct, ED der einfallende Strahl, De dessen grade Verlängerung ist, der Winkel $CDG = \frac{2}{3} CDe$, und weil $CDe = ACD$ ist, auch $CG = \frac{2}{3} GD$, oder fast genau $CG = \frac{2}{3} GA$, also der Punct G, wo die seitwärts einfallenden Strahlen die Axe erreichen, dreimal so weit als C hinter dem Einfallspuncte A. Hieran knüpft sich ziemlich leicht die eben angeführte allgemeine Bestimmung für Gläser, die an beiden Seiten convex sind; aber da es hier nur meine Absicht ist, die Wege anzudeuten, die man verfolgen muß, um zu genauen Bestimmungen zu gelangen, nicht aber die messenden oder rechnenden Bestimmungen strenge in Zahlen nachzuweisen, so breche ich diese geometrische Betrachtung ab.

Daß das Bild des Gegenstandes umgekehrt ist, läßt sich leicht übersehen; denn Strahlen, die mit ab parallel einfallen, (Fig. 65.) haben in g, also an der entgegengesetzten Seite der Axe, ihren Vereinigungspunct. Hiebei muß ich aber doch noch einen Umstand erklären. Man sieht den durch die Mitte des Glases gehenden Strahl abg als ungebrochen durchgehend an, weil er bei H eine mit AB parallele Fläche antrifft, und daher in einem ziemlich dünnen Glase als ungebrochen durchgehend angesehen werden darf. Die mit ab parallel einfallenden Strahlen werden, wenn ihre Neigung gegen die Axe nicht allzu groß ist, in eben der Entfernung $Hg = HG$ hinter dem Glase gesammelt, und in Gg stellt sich also ein Bild des entfernten Gegenstandes dar, dessen Endpuncte durch die Linien CH, ab getroffen werden.

Bei concaven Gläsern findet ein solcher Vereinigungspunct nicht statt. Parallel mit der Axe einfallende Strahlen AD werden hier (Fig. 67.) so wohl beim Eintritt als beim Austritt von der

Axe abwärts gebrochen; denn beim Eintritt wird der Winkel ADI, den der ungebrochene Strahl mit dem Einfallslothe DI macht, verkleinert, FDi kleiner als ADI, also DF von der Axe abwärts gelenkt; und beim Austritt, wo FK das Einfallsloth ist, bringt die Vergrößerung des Winkels, indem DF nicht nach L, sondern nach G fortgeht, auch eine Entfernung von der Axe hervor. Eine genauere Betrachtung zeigt, daß alle Strahlen, die nahe bei der Axe und mit ihr parallel einfallen, eine solche Richtung annehmen, als ob sie alle von einem vor dem Glase liegenden Puncte M ausgingen, den man hier den Zerstreuungspunct nennen kann, weil die sich zerstreuenden, divergirenden Strahlen zwar nicht wirklich von ihm herkommen, aber doch die Richtung haben, als ob sie von ihm herkämen. Daß diese Gläser kein Bild hervorbringen können, versteht sich von selbst, indem die von nahen Gegenständen herkommenden Strahlen noch stärker, als die von entfernten Gegenständen kommenden Strahlen aus einander gehen, ein Bild aber nur durch gesammelte, convergirende, und in einem Puncte vereinigte Strahlen entstehen kann. Aber obgleich eben deswegen dieser Zerstreuungspunct sich nicht auf solche Weise, wie der Sammelpunct, kenntlich macht, so kann man ihn gleichwohl durch einen leichten Versuch nachweisen. Man halte das concave Glas so, daß die Sonnenstrahlen senkrecht auffallen, bedecke es aber mit einem Papiere, das nur genau in der Mitte eine kleine Oeffnung und bei D eine kleine Oeffnung hat; dann zeigt sich auf einer in NO gehaltenen weißen Tafel ein Punct O in der Axe und ein Punct in N erhellt, und wenn man die Tafel weiter entfernt, so rücken diese erleuchteten Puncte immer weiter aus einander nach n und o, und dieses findet so statt, daß alle so gefundenen Puncte N, n, n^I, in einer graden durch den Zerstreuungspunct M gehenden Linie sind.

Die Gründe, worauf die Berechnung der Brennweite für Linsen, deren Gestalt und Brechungskraft man kennt, beruht, lassen zugleich auch übersehen, daß man umgekehrt die Brechungskraft aus der Brennweite kennen lernen kann, wenn die Gestalt der Linse bekannt ist; indeß wird dazu eine sehr scharfe Bestimmung der Brennweite erfordert, die sich bei Linsen von kleinen Halbmessern nur wenig ändert, wenn auch das Brechungsverhältniß erheblich anders ist. Brewsters Methode, die Brechung für weiche,

halbdurchsichtige Substanzen zu finden, beruht hierauf, indem er zwischen zwei Gläsern, die nach Kugelflächen geschliffen sind, aber nur sehr wenig Raum zwischen sich lassen, dem weichen Körper die Gestalt einer durch die Gläser bestimmten Linse giebt; die Brennweite oder die Lage des bei sehr geringer Dicke jener Masse auch hier kenntlichen Bildes giebt die Brechungskraft an.

Bestimmung des Grades der Weiße einer weißen Fläche.

Ehe ich zu den zusammengesetzteren Verbindungen der Linsengläser und den Anwendungen derselben übergehe, ist es wohl hier der passendste Ort, zu zeigen, wie Lambert mit Hülfe der Glaslinsen die ungleichen Grade der Weiße weißer Flächen zu bestimmen gelehrt hat. Wenn man ein stark erleuchtetes weißes Papier als den Gegenstand **AB** (Fig. 74*) anwendet, dessen Bild **ab** man auf einer weißen Tafel auffangen will, so wird offenbar, wenn die Stellung der Linse dieselbe bleibt, dies Bild desto lebhafter sein, je stärker das Papier erleuchtet wird und je größer die Weiße des Papieres ist; dagegen aber kann man die Erleuchtung des Bildes durch eine andre Stellung des Papieres und der Linse nach Willkür verstärken oder schwächen, indem, wie Sie schon wissen, dadurch bald ein größeres, matteres, bald ein helleres, lebhaftes Bild hervorgebracht wird. Der Verlust an Licht, der beim Durchgange des Lichtes durch die Linse statt findet, muß aus Versuchen, die ich schon früher angegeben habe, bekannt sein, — ich will ihn auf $\frac{1}{20}$ setzen —; dann darf man ja gewiß sagen, das Bild **ab** (Fig. 74*) erhält alle von **AB** auf die Linse **EF** fallenden Lichtstrahlen, jenen Verlust abgerechnet, und wenn die Wand **Db** hindert, daß von der Flamme **L** kein Licht nach **ab** gelange, während **bc** senkrecht von ihr erleuchtet wird, so kann man die Stellung der Flamme **L** so wählen, daß die Erleuchtung bei **ab** und **bc** gleich erscheine. Die Menge der von **AB** zurückgesandten Lichtstrahlen ist der Erleuchtung, welche durch Abstand und Lage der Flamme **L** bekannt ist, proportional; aber weil **AB** nicht alle empfangenen Strahlen zurücksendet, so ist nur ein bestimmter Theil davon, ein desto geringerer, je mehr **AB** sich von der absoluten Weiße entfernt, als gegen die Linse **EF** zu ausstrahlend in Rechnung zu bringen; von

diesen auf die Linse fallenden Strahlen, deren Menge man aus der Größe und Entfernung der Linse berechnen kann, sind nur $\frac{19}{20}$ in dem Bilde a b angekommen, und so hat man alles, was zu Berechnung der Erleuchtung in a b erforderlich ist, nur die Weiße des Papieres A B nicht. Ergiebt nun das Experiment die Größe der Erleuchtung in a b derjenigen gleich, welche die Tafel b c unmittelbar erhält, so findet man, wie viele der auffallenden Strahlen das Papier A B zurückgiebt, oder welche Weiße dieses hat. Lambert findet, daß nur $\frac{2}{5}$ der Strahlen, selbst vom weißesten Papiere, zurückgeworfen werden, — eine Bestimmung, die wohl nicht weit von der Wahrheit entfernt sein kann.

Das Auge.

Der Gebrauch dieser Linsengläser ist ein sehr vielfacher, aber ehe ich angeben kann, wie sie uns dienen, besser zu sehen, deutlicher zu sehen, die Gegenstände vergrößert zu sehen, muß ich das wunderbare Organ, wodurch wir überhaupt sehen, beschreiben. — Wodurch wir sehen! — ohne welches alle diese Erscheinungen des Lichtes nicht für uns da wären, ohne welches die Verbindung mit der Außenwelt fast auf die Entfernung, welche unsre Hand erreicht, beschränkt, und selbst die regste Thätigkeit unsers Geistes gehemmt wäre. O Glück des Sehens! — So wenig es dem ernsten Fortschreiten eines wissenschaftlichen Vortrages angemessen sein mag, Empfindungen auszusprechen, so ist doch der Gedanke, was alles wir dem Auge verdanken, ein zu wichtiger und großer, um ihm nicht einige Augenblicke zu widmen. Selbst der Blinde lernt nicht ganz die Noth und Beschränktheit kennen, die uns drücken würde, wenn wir der Augen ganz beraubt wären, denn fremde Augen, mögen sie auch nur einen geringen Theil dessen ersetzen, was ihm fehlt, sehen doch für ihn. Selbst die dunkelste Nacht giebt uns nur in den seltensten Fällen auf wenige Augenblicke einen Begriff vom Nichtsehen, und doch klagen wir, daß die Nacht keines Menschen Freund ist, daß tausend Gefahren uns, von uns unbemerkt, bedrohen können, denen wir durch Klugheit oder Entschlossenheit am Tage leicht entgehen würden, wenn wir sie nur wenige Augenblicke vorher sähen. Ein einziger Blick führt uns unzählige neue Vorstellungen zu. Ein einziger Blick bestimmt unsern Entschluß

und giebt unsrer Thätigkeit eine sichere Richtung. Ein einziger Blick lehrt uns, oft bis auf Meilen weit, die Gefahren, die wir vermeiden, das Ziel, das wir erreichen wollen, kennen. Und wie oft schwelgt unser Auge im Genusse des Sehens! Der um uns blühende Frühling, das Blau des Himmels, die Pracht der Abendröthe, der Himmel voll Sterne, und endlich der beredte Blick eines geistreichen Auges! — Das alles, Unzähliges, das uns erfreut und erhebt, wahrzunehmen, verdanken wir dem Auge!

Wie diese Empfindung des Sehens hervorgebracht wird, das zu erklären, ist das Bestreben der Naturlehre, und dieses Bestreben ist, so weit eine solche Erklärung möglich ist, in hohem Grade gelungen; aber unsre Erklärung kann nur so weit gehen, als das Körperliche reicht, und die wichtigste Frage, wie denn jenes Bild auf zartem Grunde, das sich so schön im Auge darstellt, dem Geiste die Empfindung des Sehens gewähre, bleibt, wie alle ähnlichen, unbeantwortet.

Um die Wirksamkeit des Auges zu Hervorbringung eines Bildes zu beweisen, pflegt man wohl allein dabei stehen zu bleiben, daß wirklich im Auge ein linsenförmiger, durchsichtiger Körper vorhanden sei, der also, einer Glaslinse ganz ähnlich, ein Bild auf den den Boden des Auges bildenden Häuten hervorbringen muß. Diese Behauptung ist im Wesentlichen richtig; aber das Auge enthält mehrere hinter einander liegende Feuchtigkeiten, auf welche alle man Rücksicht nehmen muß, um den Ort des im Auge entstehenden Bildes richtig zu bestimmen. Wenn wir das Auge von außen ansehen, so unterscheiden wir das Weiße im Auge, als eine das Licht nicht durchlassende Haut, von dem Augensterne, der in der Mitte schwarz und mit einer blaulichen oder grauen oder braunen Einfassung umgeben ist. Die anatomische Untersuchung des Auges zeigt, daß wir hier durch die völlig durchsichtige Hornhaut F, hinter welcher in H sich die wässerige Feuchtigkeit befindet, (Fig. 68.) theils die Iris, die Regenbogenhaut G, G, sehen, theils durch die Oeffnung dieser Haut und durch die sämmtlichen durchsichtigen Flüssigkeiten den schwarzen Boden des Auges erblicken; wenn wir daher, wie es oft geschieht, das Schwarze im Auge den Aug=Apfel nennen, so ist das zwar sofern nicht unrichtig, als sogleich hinter dieser Oeffnung die Crystalllinse I,

der wichtigste Theil des Auges, liegt, aber jener schwarze Kreis selbst ist nur die Oeffnung in der Regenbogenhaut. Das Auge ist also, sofern wir es hier, in Beziehung auf die Haupt-Umstände des Sehens, zu betrachten nöthig haben, vorne durch die kugelförmig gebildete Hornhaut F, hinten durch eine die ganze Höhlung EE bekleidende Nervenhaut begrenzt. In dieser Höhlung befindet sich zwischen der Hornhaut und der Linse I die wässerige Feuchtigkeit, die das Licht ungefähr in eben dem Maaße wie Wasser bricht, hinter der Linse und bis an den Boden des Auges ist der Raum mit der glasartigen, einem durchsichtigen Gallert gleichenden Flüssigkeit ausgefüllt; die Linse selbst aber ist ein consistenter, durchsichtiger Körper, der an seiner vorderen Seite mit etwas flacherer, an seiner hintern Seite mit etwas stärkerer Wölbung in der That eine Linsenform darstellt, und das Licht etwas stärker als die beiden an ihm anliegenden Feuchtigkeiten bricht.

Indem nun die Lichtstrahlen auf die Hornhaut und durch sie an die wässerige Feuchtigkeit gelangen, werden sie gegen die Axe des Auges zu gebrochen, und zwar so, daß sie etwa 15 Linien hinter der Hornhaut ein Bild sehr entfernter Gegenstände darstellen würden, wenn nicht die Linse sie stärker bräche; beim Eintritt in die Linse und beim Austritt aus der Linse werden sie zu einer größern Convergenz gebracht, so daß sie etwa 8 Linien hinter der Linse, das ist, etwa $11\frac{1}{2}$ Linien hinter der Hornhaut sich zu einem Bilde vereinigen. Grade hier aber, und dieses mit so großer Genauigkeit, als es die Abmessung der Krümmung der Hornhaut und der Linse zu bestimmen gestattet, befindet sich der mit der Nervenhaut oder Netzhaut bedeckte Boden des Auges, der also dieses Bild aufnimmt. Die aus dem Sehenerven ausgehende Netzhaut im Auge muß also ohne Zweifel dadurch, daß sie durch die auffallenden Lichtstrahlen gereizt wird, der Seele die Vorstellungen, die wir dem Gesichte zuschreiben, zuführen. Daß jene optischen Bilder der äußere Grund dieser Vorstellungen sind, daran ist kein Zweifel, indem die ganze Einrichtung des Auges beweist, daß die Darstellung dieses Bildes der Zweck der ganzen Anordnung des Organes ist; indem die künstlichen Mittel, die dieses Bild deutlich und bestimmt machen, uns auch den Eindruck eines deutlichen Sehens gewähren, und Fehler des Auges, durch welche das Bild undeut-

lich wird, durch solche künstliche Mittel können unschädlich gemacht werden.

Das Auge ist aber nicht nur seinen Hauptbestandtheilen nach zweckmäßig zu Bewirkung des Sehens eingerichtet, sondern auch in der Bildung jedes Theiles und in der Anordnung der auf den Gang der Lichtstrahlen nicht unmittelbare Beziehung habenden Theile läßt sich eine große Zweckmäßigkeit fast überall nachweisen. Bei unsern Linsengläsern findet, wenn sie einen zu großen Theil der Kugelfläche umfassen, kein genaues Zusammentreffen der von einem Puncte ausgehenden Lichtstrahlen in einem Puncte statt; bei dem Auge scheint dieses Zusammentreffen theils dadurch, daß im Leben die Oberfläche der Linse, vermuthlich auf eine hiezu angemessene Weise, etwas von der Kugelfläche abweicht, theils durch die Ungleichheit ihrer Schichten, die eine nicht genau gleiche Brechungskraft haben, bewirkt zu werden. Aber dieses reine Bild des Gegenstandes könnte, wie Sie wissen, nicht immer in derselben Entfernung von der Crystalllinse sich darstellen, sondern müßte für entfernte Gegenstände dieser etwas näher liegen, für nähere Gegenstände auf einem etwas entfernteren Grunde dargestellt werden; und auch dafür ist bei dem gesunden Auge gesorgt, indem das gesunde Auge in sehr kurzer Zeit fähig ist, eine solche Aenderung in der gegenseitigen Lage seiner Theile zu bewirken, daß, wenn wir auf nahe Gegenstände sehen, das Bild der nahen, wenn wir auf entfernte Gegenstände sehen, das Bild der entfernten Gegenstände deutlich auf der Netzhaut des Auges abgebildet wird. Daß dies der Fall ist, zeigt die Erfahrung; aber da das Auge während des Lebens in seinem Innern nicht beobachtet werden kann, so sind wir noch ungewiß, ob diese Veränderung darin besteht, daß die Crystallinse oder die Hornhaut etwas convexer wird, wenn wir auf nähere Gegenstände sehen, oder ob sie darin besteht, daß in diesem Falle die Linse sich um etwas Weniges von dem Boden des Auges entfernt.

Was die zweckmäßige Anordnung des Auges in andern Rücksichten betrifft, so läßt sich darüber noch Manches bemerken. Der Boden des Auges ist unter der Nervenhaut oder Netzhaut mit einer schwarzen, schleimartigen Substanz überzogen, deren Zweck offenbar der ist, die Reflexion der auf die innere Höhlung des Auges

fallenden Strahlen zu verhindern; — wo dieses schwarze Pigment fehlt, welches bei den Kakerlaken, deren Pupille daher roth aussieht, der Fall ist, da ist das Auge durch ein etwas stärkeres Licht leicht geblendet; — ein Nachtheil, den jenes schwarze Pigment beseitiget. Um dieser Blendung durch stärkeres Licht, welche auch bei gesunden, mit jenem schwarzen Pigment gehörig versehenen Augen statt finden kann, wenn das Bild im Auge von allzu zahlreichen Lichtstrahlen hervorgebracht wird, zu begegnen, dient die merkwürdige Einrichtung der Iris oder Regenbogenhaut, daß sie die Pupille, die schwarze Oeffnung des Auges, erweitern oder verengern kann. Sobald nämlich ein zu starker Lichtreiz die Netzhaut des Auges trifft, so verengert sich die Oeffnung der Pupille und vermindert dadurch die Menge der eingelassenen Strahlen, folglich auch die Erleuchtung des Bildes im Auge und den damit verbundenen Lichtreiz auf die Netzhaut. Im Dunkeln dagegen erweitert sich die Pupille, um dem Bilde alle die Erleuchtung, die es durch Vermehrung der gesammelten Strahlen erhalten kann, zu gewähren. Von dieser ungleichen Oeffnung der Pupille hängt es ab, daß wir, aus einem sehr erhellten Raume in einen dunkeln eintretend, fast gar nichts erkennen, aber nach einiger Zeit die schwach erhellten Gegenstände deutlicher gewahr zu werden anfangen. Es war nämlich bei unserm Eintritte in die Dunkelheit die Pupille so verkleinert, daß sie nur wenige Lichtstrahlen einließ, und daher durch die matt erleuchteten Gegenstände, die auf diesen kleinen Raum allzu wenig Licht senden, kein hinreichend lebhaftes Bild hervorgebracht werden konnte; aber beim Verweilen in der Dunkelheit wird die Pupille größer und daher das Bild im Auge besser erleuchtet, obgleich die Gegenstände immer nur noch gleich viel Licht aussenden. In dieser Ungleichheit der Pupille liegt offenbar auch ein Grund, warum unser Auge über den Grad der Erleuchtung eines Gegenstandes kein strenges Urtheil besitzt, weil gleiche Erleuchtung bei verschiedenen Zuständen des Auges uns ungleich erscheinen muß. Ueberdies auch ist die Reitzbarkeit unsrer Sehenerven nicht immer gleich.

Zu den Nebentheilen des Auges gehören noch die Muskeln, welche die Bewegung des Auges bewirken, indem die seitwärts gerichtete Bewegung durch eine Dehnung des einen und Verkürzung des andern Muskels, die das Seitwärtsziehen bewir-

ken, hervorgebracht wird, und ebenso die Bewegung hinauf und hinabwärts von bestimmten Muskeln abhängt.

Ehe ich zu den künstlichen Mitteln, um theils den Augenfehlern abzuhelfen, theils das Sehen kleiner oder entfernter Gegenstände zu verbessern, übergehe, muß ich hier noch einige Fragen beantworten, die man gewöhnlich in Beziehung auf unser Sehen aufwirft. Die erste ist, warum wir mit zwei Augen doch nur die Gegenstände einfach sehen. Da es bekannt ist, daß wir durch ein Seitwärtsdrücken des Auges bewirken können, daß die Gegenstände, die wir bei natürlicher Stellung des Auges einfach sahen, doppelt erscheinen, so ergiebt sich die Antwort auf jene Frage leicht, nämlich daß es übereinstimmende Puncte auf der Netzhaut beider Augen geben muß, die die Eigenschaft haben, daß die Empfindung nur eines Bildes hervorgeht, wenn die gleichen Bilder auf diese übereinstimmenden Puncte fallen. Ob dieses durch Gewöhnung hervorgegangen ist, oder ob in der Bildung der Nerven etwas sein kann, dem wir diese Vereinigung zweier Eindrücke in eine einzige gemeinschaftliche Empfindung verdanken, scheint noch ungewiß. Wir sehen entfernte Gegenstände doppelt, wenn wir beide Augen auf einen nahen Gegenstand richten; dies geschieht aus eben dem Grunde, weil nun die beiden Bilder des nahen Gegenstandes auf correspondirende Puncte der Netzhaut fallen, eben darum aber die beiden Bilder entfernter Gegenstände nicht auf correspondirende Puncte treffen können. Bei richtiger Beschaffenheit beider Augen sollen diese correspondirenden Puncte so liegen, daß beide Aug=Apfel in der Mitte stehen, um Gegenstände grade vor uns zu sehen, daß beide Augen nach der rechten Seite gewandt stehen, um rechts liegende Gegenstände zu sehen; bei den Schielenden dagegen scheinen die correspondirenden Puncte eine andre Lage zu haben, und eben deswegen eine ungleiche Stellung beider Augen nöthig zu werden. Indeß ist beim Schielen sehr oft das eine Auge unthätig, und hat daher gar keine bestimmte Neigung, die gehörige Richtung anzunehmen.

Es giebt einen Punct im Auge, wo das Bild uns gar keine Empfindung des Sehens gewährt. Wenn man zwei schwarze Flecke, etwa von 1 Linie Durchmesser $1\frac{1}{2}$ Zoll von einander entfernt auf weißes Papier gezeichnet, in nahe horizontaler Stellung vor die

Augen hält, nun das rechte Auge schließt, und das linke auf den rechts liegenden Punct richtet, so bemerkt man, indem man das Papier allmählig bis auf etwa 6 Zoll nähert, daß der links liegende Fleck gar nicht gesehen wird, obgleich man ihn bei größerer und auch bei erheblich kleinerer Entfernung wahrnimmt. Der Versuch ist leicht anzustellen und gelingt leicht, sobald man sich nur gewöhnen kann, das Auge wirklich auf jenen andern Punct unverwandt zu heften. Bei genauer Ausmessung der Lage, die der Gegenstand und die folglich das Bild im Auge haben muß, um auf diese Weise unsichtbar zu werden, hat man gefunden, daß die Stelle, wo der Sehenerve ins Auge tritt, oder wo sich die Central=Arterie desselben befindet, diejenige ist, die nach diesem Versuche unempfindlich für das Licht ist. Beim gewöhnlichen Sehen bemerken wir dieses nicht, weil, wenn wir einen einzelnen Punct genau wahrnehmen wollen, unser Auge sich grade gegen ihn wendet, statt daß er bei jenem Versuche ziemlich entfernt von der Axe des Auges liegen muß.

Eine zweite Frage, die man oft aufgeworfen hat, ist, warum wir die Gegenstände aufrecht sehen, da doch ihr Bild im Auge, so wie das durch ein Linsenglas hervorgebrachte Bild, umgekehrt ist. Diese Frage scheint mir auf einem bloßen Mißverstehen der Art und Weise, wie jenes Bild im Auge unsre Geistesthätigkeit erregt, das Bewußtsein des Sehens hervorbringt, zu beruhen. Es ist wahr, wenn ein fremdes Auge auf den Hintergrund unsers Auges sähe, so würden diesem alle Gegenstände dort in einem umgekehrten Bilde dargestellt erscheinen; aber offenbar ist die Seele nicht ein solcher Beobachter, der die Lage der äußern Gegenstände zugleich auch sieht, der das Oben und Unten noch durch andre Mittel als grade durch jenes Bild kennen lernt. Vielmehr hängt ja der gesammte Eindruck des Sehens einzig und allein von diesem Bilde ab, und nichts in der Empfindung des Sehens belehrt uns darüber, welcher Theil des Bildes dem obern oder dem untern Theile des Kopfes näher liegt. Diese Lage des Bildes ist daher in Beziehung auf die Vergleichung mit dem Sinne des Gefühls ganz gleichgültig; aber von den ersten Eindrücken des Sehens an hat sich die Erfahrung über das, was oben und unten ist, so fest an

jenes — wenn auch umgekehrte — Bild geheftet, daß die Verbindung auf die richtige Weise unzertrennlich statt findet.

Daß dieses Bild wirklich umgekehrt ist, brauche ich Ihnen wohl nicht besonders nachzuweisen; aber einen merkwürdigen Versuch, der sich hier am besten anschließt, will ich doch noch erzählen. Dieser Versuch fordert, daß man eine Charte, in die man mit der Nadel ein kleines Loch gemacht hat, so vor das eine Auge und gegen das Licht halte, daß man eine Lichtflamme durch die feine Oeffnung sieht; man hält dabei die Charte am besten in der Entfernung von 8 bis 10 Zoll vom Auge. Während man so die Lichtflamme deutlich durch die Oeffnung sieht, führt man die Spitze eines Federmessers sehr nahe vor eben dem Auge vorbei, und sieht nun, wenn die Spitze wirklich nach der linken Seite gekehrt ist, diese in jener Oeffnung nach der rechten Seite gekehrt in die Lichtflamme oder in die Oeffnung eintreten, oder von unten her, wenn sie wirklich von oben her bewegt wird. Der Grund hievon ist in der umgekehrten Lage des Bildes zu suchen. Es sei AB der Theil der Lichtflamme (Fig. 75*.), den man durch die Oeffnung C sieht, DE sei der Crystall des Auges, ab das Bild jener Lichtflamme im Auge. Tritt nun bei F die Spitze des Federmessers von unten herauf vor das Auge, so hindert dieses zuerst die von B kommenden Lichtstrahlen zum Auge zu gelangen, und in b wird das Bild beschattet, der obere Theil B der Flamme nicht mehr gesehen, und so wie die Spitze hinaufgeht, verdeckt sie immer niedrigere Theile der Flamme, so daß es aussieht, als ob das Messer von oben in die Oeffnung C einträte.

Fernsichtigkeit und Nahsichtigkeit. Brillen und Augengläser.

Aber so viel auch die Natur gethan hat, um das Auge seinem Zwecke angemessen zu bilden, so ist doch auch das Auge einer fehlerhaften Bildung, sie sei nun ursprünglich schon vorhanden oder durch Mißbrauch und Verwöhnung oder durch Krankheit oder Alter entstanden, fähig, und die Folgen davon sind Gesichtsfehler, denen wir durch künstliche Mittel abzuhelfen suchen. Einer der häufigsten Fehler ist der, daß das Auge die Fähigkeit sich zum Deutlichsehen für nahe und für entfernte Gegenstände einzurichten, nicht

besitzt. Das gesunde Auge muß, vorzüglich im jugendlichen Alter, fähig sein, Gegenstände in 6 Zoll Entfernung und nach einem kurzen Zwischenraume von Zeit höchst entfernte Gegenstände deutlich zu sehen, und es besitzt daher die Fähigkeit, in wenigen Augenblicken diese Veränderung, die das Nahesehen und das Fernsehen fordert, zu bewirken. Diese Fähigkeit geht oft schon in frühem Alter durch Verwöhnung verlohren, wenn Kinder oder junge Leute unaufhörlich auf eine nahe an das Auge gehaltene Arbeit sehen und nicht abwechselnd ihr Auge auch üben, in die Ferne zu sehen; aber auch durch eine allmählige Veränderung des Auges im spätern Alter, oft auch plötzlich durch Augenkrankheit wird eine solche Veränderung des Auges herbei geführt. Um diesem Nachtheile, daß das Auge nur für die Ferne oder nur für die Nähe brauchbar ist, abzuhelfen, dienen die Brillen.

Wenn in einem etwas weiter vorrückenden Alter, oft schon im 45ten bis 50ten Jahre, die Feuchtigkeiten im Auge sich vermindern und Linse und Hornhaut eine etwas weniger convexe Form annehmen, so wird das Auge fernsichtig. Die Brechung ist bei dieser Form des Auges nicht stark genug, um die von nahen Gegenständen kommenden Lichtstrahlen schon auf der Netzhaut zu vereinigen, sondern das Bild würde erst in größerer Entfernung entstehen, und die auf der Netzhaut noch nicht gesammelten Strahlen bringen dort ein ebenso undeutliches Bild hervor, wie es sich uns zeigt, wenn wir ein convexes Glas, um das Bild an der Wand darzustellen, dieser zu sehr nähern. Eine Brille mit convexen Gläsern macht ein fernsichtiges Auge fähig, nahe Gegenstände gut zu sehen; denn wenn der zu betrachtende Gegenstand sich im Brennpuncte des Glases befindet, so werden die von ihm ausgehenden Strahlen so gebrochen, daß sie parallel ins Auge kommen, und nun im Auge ebenso, als ob sie von einem sehr entfernten Puncte kämen, vereinigt werden. Daß der Fehler der Fernsichtigkeit einzutreten anfängt, bemerkt man daran, daß man, um etwas zu lesen, das Buch weiter als gewöhnlich vom Auge entfernen muß, daß man bei mäßiger Erleuchtung gar nicht mehr im Stande ist, eine in gewöhnlicher Entfernung gehaltene Schrift zu lesen, daß man daher endlich es nöthig findet, das Buch, in welchem man lesen will, hinter das Licht zu halten. Wenn diese Umstände eintreten, so ist

es Zeit eine Brille zu gebrauchen; doch thut man wohl, sie anfangs nur von geringer Convexität zu wählen, obgleich man gewöhnlich die stärkern angenehmer findet. Eine schon sehr convexe Brille macht das Auge leicht noch fernsichtiger, und auch eine mäßig starke Brille schadet dem Auge, wenn man durch sie nach entfernten Gegenständen sieht, weshalb man sich gewöhnen muß, sie sogleich zu entfernen, wenn man vom Buche weg auf einen entfernteren Gegenstand sehen will. Gewöhnlich nimmt das Uebel der Fernsichtigkeit mit den Jahren zu, und man muß sich nach und nach andrer Brillen mit convexeren Gläsern bedienen. Bei der Wahl derselben muß man zwar sich durch die Annehmlichkeit, welche eine starke Brille darbietet, nicht verleiten lassen, aber muß doch auch eine solche wählen, durch welche man ohne allzu starkes Licht mit Leichtigkeit liest, damit nicht die Anstrengung des Auges diesem nachtheilig werde. Will man das Auge nicht verwöhnen, so gebe man dem Buche, worin man liest, die größte Nähe, wobei man noch deutlich und leicht alles erkennt; denn wenn der Gegenstand nicht so weit als der Brennpunct vom Auge entfernt ist, so erhält man die Strahlen noch nicht ganz parallel, sondern so wie sie von mäßig entfernten Gegenständen ausgehen. Muß man in einzelnen Fällen in Ermangelung der Brille, um bei Lichte zu lesen, das Buch hinter das Licht halten, so ist es vortheilhaft, das Auge mit der Hand gegen die unmittelbare Einwirkung der Lichtflamme zu schützen, wodurch der Vortheil, den stark erleuchteten Gegenstand gut zu sehen, nicht aufgehoben wird. Indeß ist die Gewöhnung an zu starke, blendende Erleuchtung allemal dem Auge nachtheilig.

Die Kurzsichtigkeit fordert concave Augengläser. Bei dem Kurzsichtigen ist die Krümmung der Hornhaut und der Linse zu groß, und es werden daher die von einem nahen Gegenstande **A** ausgehenden Strahlen so stark gebrochen, daß sie ein reines Bild in **B** auf der Netzhaut darstellen (**Fig. 69.**); die Lichtstrahlen dagegen, die von entfernteren Gegenständen kommen, wie **DH**, sollten ein reines Bild in **C** darstellen, welches, weil die Strahlen erst in der Gegend von **B** aufgefangen werden, wo sie schon wieder angefangen haben, sich zu zerstreuen, nicht rein hervorgeht, sondern bei **B** entsteht für jeden Punct des Gegenstandes ein größerer erleuchteter Raum, eben dadurch aber ein verwirrtes Bild. Das

concave Glas EG, durch welches das kurzsichtige Auge auf entfernte Gegenstände sieht, bewirkt, daß die parallelen Strahlen KE, AG, so gebrochen werden, als ob sie von dem Zerstreuungspuncte A des Glases ausgingen, und eben darum werden sie nun auf die richtige Weise im Auge zu einem Bilde vereinigt, nämlich eben da, wo das Bild eines in A befindlichen nahen Gegenstandes hinfallen würde. Der Kurzsichtige hat bei der Wahl und dem Gebrauche seiner Gläser ähnliche Regeln wie der Fernsichtige zu befolgen. Da das jugendliche Auge noch fähig zu sein pflegt, durch Gewöhnung sich von seinen Fehlern zu erholen, so ist es allen jungen Leuten anzurathen, daß sie dadurch, daß sie entferntere Gegenstände scharf ins Auge fassen und sich anstrengen, um diese deutlich zu sehen, ihr Auge zu verbessern suchen. Können sie aber des Glases nicht entbehren, so müssen sie kein zu hohl geschliffenes wählen, und es nicht anwenden, nn sie auf nahe Gegenstände sehen.

Der Gebrauch aller Gläser hat Unbequemlichkeiten und bringt dem Auge einige Nachtheile; dahin gehört, wenn das Licht von der Seite auf das Auge und auf die Brille fällt, der Reflex des von der Hinterseite der Brille ins Auge fallenden Lichtes, der dem Auge unangenehm und schädlich ist, und den man daher zu vermeiden suchen muß. Aber dennoch müssen wir es freilich als ein großes Glück anerkennen, daß besonders gegen die unvermeidlichen Fehler, denen unsre Augen unterworfen sind, diese Hülfsmittel uns zu Gebote stehen.

Wenn der Fehler des Auges nicht bei beiden Augen gleich ist, so muß man für jedes einzelne das angemessene Glas aussuchen. Für ein Auge allein eine Lorgnette zu gebrauchen, ist nachtheilig, weil das andre Auge sich dann ganz an Unthätigkeit gewöhnt. Die größern Lesegläser, als Hülfsmittel für Fernsichtige zu gebrauchen, ist nicht zu häufiger Anwendung zu empfehlen, weil die Bewegung des Glases nicht immer eine gleichmäßige Richtung der zum Auge gelangenden Strahlen gestattet und das Auge daher nicht mit gehöriger Gleichheit immer ein reines Bild erhält. Will man sich ihrer da, wo es nur für kurze Zeiten nöthig ist, bedienen, so kann es ohne großen Nachtheil geschehen.

Vergrößerungsgläser. Einfache Microscope.

Aber selbst das beste Auge kann doch sehr kleine Gegenstände nicht mehr deutlich erkennen, und wir sehen uns daher nach Hülfsmitteln um, die Sehekraft unsers Auges in dieser Hinsicht zu verstärken. Wenn wir sehr kleine Gegenstände unter einem hinreichend großen Sehewinkel, um noch einzelne Theile zu unterscheiden, sehen wollen, so sind wir genöthigt, sie sehr nahe an das Auge zu bringen; aber ein gesundes Auge ist nicht im Stande sich so anzuordnen, daß bei einer Entfernung von 2 Zoll das Bild im Auge noch deutlich werde, und es sieht daher einen so nahe gehaltenen Gegenstand zwar groß, aber undeutlich; der Kurzsichtige, der alle Gegenstände bis auf 3 oder 4 Zoll dem Auge zu nähern gewohnt ist, hat darin einen Vorzug, daß er sehr kleine Gegenstände gut sieht, ja die Kurzsichtigkeit entsteht eben aus dem oft wiederkehrenden oder ununterbrochen dauernden Bedürfniß, sehr kleine Gegenstände genau mit bloßem Auge zu sehen. Die convexe Linse setzt aber ein jedes Auge nach Verschiedenheit der Brennweite in Stand, die Gegenstände so groß zu sehen, wie sie in 2 Zoll oder 1 Zoll, ja in 1 Linie Entfernung erscheinen, und sie dient uns daher als Vergrößerungsglas. Wenn das Auge gewohnt ist, durch parallele Strahlen gut zu sehen, oder wenn es fernsichtig ist, so sieht es diejenigen Puncte durch eine einfache Linse deutlich, die um den Brennpunct A liegen; denn die von da auf die Linse fallenden Strahlen kommen parallel, wie DO, BO, (Fig. 70.) in das Auge. Ist a ein Punct, der neben dem Brennpuncte liegt, und diesem so nahe, wie es bei den durch ein Vergrößerungsglas betrachteten Gegenständen der Fall ist, so werden auch die von ihm ausgehenden Strahlen nach der Brechung parallel, und zwar parallel dem durch die Mitte B des Glases gehenden Strahle aB. So sieht also das Auge in O den Punct A in der Richtung OA, den Punct a in der Richtung OG, und er erscheint so groß, als der Sehewinkel GOA, welcher dem aBA gleich ist, angiebt; hielte man das Auge in E, so wäre BE der von a zum Auge gelangende Strahl, DE der von A kommende; und bei jeder Stellung des Auges in O oder E, oder wo es den ganzen Gegenstand Aa übersieht, erscheint dieser unter einem Sehewinkel, der dem

Winkel a B A gleich ist, das heißt, so groß als er dem bloßen Auge, wenn dieses in B wäre, erschiene. Hieraus kann man die Vergrößerung berechnen. Doch ehe ich dieses nachweise, will ich noch die eine Bemerkung einschalten, daß auch ein nicht so fernsichtiges Auge den Gegenstand durch diese Linse deutlich sehen kann, nur muß dann der Gegenstand näher an das Glas gerückt werden, damit die Strahlen beim Hervorgehen noch divergirend bleiben; diese Verminderung des Abstandes braucht nur sehr wenig zu betragen, und hat auf die eben angegebne Größe des Sehewinkels keinen bedeutenden Einfluß.

Um aber nun die Vergrößerung zu berechnen, muß man den Abstand kennen, in welchem man mit bloßem Auge deutlich sieht. Ist mein Auge so beschaffen, daß es kleine Gegenstände in 10 Zoll Entfernung am besten sieht, und hat meine Glaslinse 1 Zoll Brennweite, so vergrößert diese mir 10 mal im Durchmesser, das heißt, ich erkenne $\frac{1}{40}$ Linie unter dieser Linse noch eben so deutlich, als $\frac{1}{4}$ Linie mit bloßem Auge. Dieses ist die Vergrößerung nach dem Durchmesser; die Vergrößerung nach der Fläche würde hundertfach sein. So verhält sich die Vergrößerung für dieses Auge; sieht dagegen ein sehr Kurzsichtiger, der die Gegenstände auf 2 Zoll Weite dem Auge zu nähern pflegt, durch eben die Linse, so sieht er den Gegenstand nur doppelt so groß, als bei dieser ihm gewöhnlichen Stellung; er konnte schon mit bloßem Auge Abtheilungen, die $\frac{1}{20}$ Linie betragen, ebenso deutlich erkennen, als jenes Auge Abtheilungen von $\frac{1}{4}$ Linie (vorausgesetzt, daß beide Augen gleich scharf Gegenstände erkennen, die einem Sehewinkel von bestimmter Größe entsprechen,) und dem Kurzsichtigen ist daher mit der Linse nur wenig gedient. Wenn diese Linsen eine sehr kurze Brennweite haben, z. B. von $\frac{1}{32}$ Zoll, wie bei Rob. Browns Versuchen, so ist die Vergrößerung stark, und würde für ein auf 10 Zoll Sehe-weite eingerichtetes Auge das 320 fache, oder nach der Fläche das 102400 fache, betragen; das heißt, wenn ein solches Auge noch $\frac{1}{7}$ Linie in der Länge oder $\frac{1}{49}$ Quadratlinie deutlich erkennt, so kann es mit Hülfe der Linse $\frac{1}{2240}$ Linie in der Länge und $\frac{1}{5017600}$ Quadratlinie, also etwa das Fünftel des Milliontels einer Quadratlinie erkennen.

Hieraus werden Sie auch übersehen, warum wir die Ver-

größerung vorzüglich bei Brillen und größern Linsen, wo es leichter ins Auge fällt, als stärker erkennen, wenn wir das Glas weiter vom Auge entfernen; immer nämlich erscheint uns der Gegenstand so groß, wie er erscheinen würde, wenn das Auge da stände, wo wir das Glas halten, und da wir diese Größe mit der dem freien Auge erscheinenden vergleichen, so scheint uns die Vergrößerung stärker.

Das Entgegengesetzte findet bei Hohlgläsern statt. Wenn hier das Auge seine Stellung O so wählt, daß es den von B (Fig. 71.) kommenden Lichtstrahl, welcher durch die Mitte des Glases C geht und welcher fast ungebrochen durchgeht, bekömmt, so erhält es zugleich die von A kommenden Strahlen so, als ob sie von a ausgingen, (von dem Zerstreuungspuncte); das Auge sieht also den Gegenstand AB unter dem kleinern Sehewinkel aOb, oder wenn das eine Auge den Gegenstand AB ohne Glas sieht, während das andre Auge durch das Hohlglas blickt, so sieht das letztere den Gegenstand auffallend verkleinert, da aOb kleiner als AOB ist.

Das zusammengesetzte Microscop.

Um starke Vergrößerungen mit mehr Bequemlichkeit anzuwenden, bedient man sich des zusammengesetzten Microscops. Seine Einrichtung beruht darauf, daß Linsengläser allemal von Gegenständen, die nur wenig jenseits des Brennpunctes liegen, ein vergrößertes Bild geben, welches bei kurzen Brennweiten schon erheblich vergrößert und nicht allzu entfernt sich darstellen kann, wenn der Gegenstand auch nur sehr wenig weiter, als der Brennpunct vom Glase entfernt ist. Dieses so entstandene Bild betrachtet man durch eine zweite Linse von kurzer Brennweite, und sieht so das schon vergrößerte Bild abermals größer. Wäre zum Beispiel der Gegenstand um $\frac{1}{10}$ der Brennweite von der ersten Linse, die hier die Objectivlinse heißt, entfernt, so würde man ein zehnfach vergrößertes Bild erhalten, und wenn man dieses mit einem Augenglase, (Ocular,) von 4 Linien Brennweite betrachtete, so erschiene, in Beziehung auf ein Auge, das in 10 Zoll Entfernung deutlich sieht, jenes zehnfach vergrößerte Bild abermals 30 mal vergrößert; es entstände also eine 300 malige Vergrößerung dem

Durchmesser nach, eine 90000 malige Vergrößerung der Fläche nach.

Da das stark vergrößerte Bild nur dann mit Vortheil angewandt werden kann, wenn es noch Lichtstärke genug besitzt, so wendet man gern alle Hülfsmittel zu Vermehrung der Beleuchtung an, und läßt daher durch einen an der andern Seite des Gegenstandes angebrachten Spiegel das Licht auf diesen zurückwerfen, und durch ein seitwärts stehendes Sammelglas die vereinigten Strahlen heller Wolken den Gegenstand treffen.

Die Stärke der Vergrößerung kann man aus den gegebenen Halbmessern der Gläser oder aus der beobachteten Brennweite derselben berechnen; aber da sehr kleine Brennweiten sich nicht ohne Schwierigkeit mit der Genauigkeit bestimmen lassen, die man zu erhalten wünschen müßte, so bedient man sich auch andrer practischer Mittel, um die Vergrößerung kennen zu lernen. Für den, der mit beiden Augen recht gut sieht, ist folgendes Mittel das einfachste und für viele Zwecke hinreichend genau. Man bringt eine sehr feine Theilung, wo zum Beispiel der Zoll in tausend Theile getheilt ist, unter das Microscop, und indem man das stark vergrößerte Bild dieses Gegenstandes vor dem durch das Microscop blickenden Auge schweben sieht, öffnet man das andre Auge, um in der Richtung, wo jenes Bild erscheint, einen Maaßstab von großen Eintheilungen zu betrachten, oder zwei verschiebbare Parallellinien so zu stellen, daß sie 10 oder 20 jener im vergrößerten Bilde sichtbaren Eintheilungen zwischen sich fassen; befinden sich diese Parallellinien in der gewöhnlichen Seheweite, und erscheinen 20 Tausendtel des Zolles hier gleich 4 Zollen, so ist die Vergrößerung 200 fach. Indeß fordert dieses Verfahren nicht bloß zwei gute Augen, sondern auch Uebung im Vergleichen der beiden, im Microscop und frei, gesehenen Gegenstände, und kann nur bei sehr großer Uebung einen hinreichenden Grad von Genauigkeit erreichen. Weit mehr findet diese statt, wenn man mit eben demselben Auge das Bild im Microscope mit dem frei gesehenen Gegenstande vergleichen kann, wie von Jacquins sehr angemessene Anordnung des Instrumentes es möglich macht. Wenn man, statt das Auge selbst in die gewöhnliche Stellung vor dem Ocular zu bringen, an dem Platze des Auges einen schief gestellten

kleinen ebnen Spiegel anbringt, so kann man bei richtig gewählter, sehr naher Stellung des Auges, seitwärts in den Spiegel blickend, das vergrößerte Bild genau so, wie es dem unmittelbar in das Microscop sehenden Auge erscheint, im Spiegel wahrnehmen. Stellt man nun einen in Zolle und Theile von Zollen getheilten Maaßstab so auf, daß er dem in jenen Spiegel sehenden Auge ganz nahe neben dem Spiegelbilde erscheint; wählt man zu dem im Microscop vergrößerten und jetzt im Spiegelbilde erscheinenden Gegenstande eine feine Theilung mit Parallellinien und giebt dieser die Lage, daß die Theilungslinien im Bilde mit den Theilungslinien des Maaßstabes gleichlaufend sind; so kann man mit großer Genauigkeit wahrnehmen, wie viele Theile des vergrößerten Gegenstandes mit gewissen Theilen des Maaßstabes zusammenstimmen. Die Bestimmung der Vergrößerung findet dann ebenso wie vorhin statt; das Auge muß aber in genau bekannter Entfernung von dem Maaßstabe seine Stellung erhalten, und zwar am besten in derjenigen, welche zum deutlichen Sehen für den Beobachter am angemessensten ist.

Aber obgleich man so ein Mittel hat, um von einer Seite den Werth eines Microscopes genau zu bestimmen, nämlich von Seiten der Vergrößerung, so ist damit doch keineswegs die wahre Brauchbarkeit desselben bestimmt. Es ist nicht so schwer, sehr starke Vergrößerungen bei einem Microscope anzubringen, aber es ist eine große Kunst des Verfertigers, bei diesen Vergrößerungen noch immer die vollkommene Klarheit und Deutlichkeit zu erreichen, die erforderlich ist, um genau zu sehen, um bis auf die kleinsten Theile zu erkennen, was das Instrument darstellt. Um in dieser Hinsicht ein Instrument, welches zur Vergleichung vorgelegt wird, mit dem zu vergleichen, was andre Instrumente leisten, schlägt von Jacquin bestimmte sehr feine Gegenstände vor, die man durch dasselbe betrachten soll. Solche Gegenstände sind die Schuppen vom weißen Schmetterling, **Papilio Brassicae**, die durchsichtig beleuchtet, als fein lineirt erscheinen; diese Linien sind $\frac{1}{10800}$ Zoll von einander entfernt und werden bei einem guten Microscop schon bei 60 bis 80 maliger Vergrößerung, schöner aber bei jeder stärkern Vergrößerung sichtbar. Als einen viel feinern Gegenstand empfiehlt von Jacquin die feinen Linien auf den durchsichtigen,

fast ungefärbten Schuppen der reißbleiartig glänzenden Kleider- und Pelzmotte; sie werden nur bei der höchsten Schärfe und Lichtstärke des Microscopes und bei 300 bis 400 maliger Vergrößerung sichtbar, und gehören also zu den ausgesuchtesten Prüfungsmitteln für sehr vollkommene Instrumente *).

Aber um durch ein Microscop die Gegenstände deutlich zu sehen, muß auch der Beobachter alle die Vorsichten kennen, die der Gebrauch des Instruments fordert, und den dabei unvermeidlichen Schwierigkeiten auszuweichen wissen. Je geringer die Brennweite einer Linse ist, desto genauer muß der Gegenstand in einem ganz bestimmten Puncte sich befinden, um deutlich gesehen zu werden, und es ist bei starken Vergrößerungen ganz unmöglich, Puncte, die etwas näher und die etwas entfernter sind, zugleich deutlich zu sehen; man muß daher die Stellung des Instruments aufs genaueste dem zu beobachtenden Puncte gemäß anordnen, und sie ändern, wenn man in dem Gesichtsfelde, welches man übersieht, bald entferntere bald nähere Puncte beobachten will.

Amici's Spiegelmicroscop.

Die sehr mannigfaltig verschiedenen Anordnungen der Gläser in Microscopen hier näher anzugeben, scheint mir nicht unserm Zwecke angemessen; aber eine Art von Microscopen, wo nämlich Hohlspiegel angewandt werden, muß ich doch, weil sie zu sehr von den übrigen abweichen, beschreiben. Dieses von Amici ausgeführte Microscop ist aus Spiegeln und Linsengläsern zusammengesetzt und heißt deshalb catadioptrisch. Ich habe bei den Spiegeln nicht den elliptisch geschliffenen Spiegel erwähnt, der die Eigenschaft hat, die aus dem einen Brennpuncte ausgehenden Strahlen in dem andern Brennpuncte der Ellipse genau zu vereinigen. Die Ellipse nämlich, die ich schon in den mechanischen Lehren der Physik an mehreren Stellen erwähnt habe **), besitzt die Eigenschaft, daß zwei Linien (Fig. 72.) von ihren beiden

---

*) von Jacquins Aufsätze in Baumgartners und von Ettingshausens Zeitschrift für Physik. IV. 1.; und V. 129. enthalten noch mehr beachtenswerthe Bemerkungen.

**) 1. Theil. S. 81. 185. 330.

Brennpuncten **A**, **B**, aus, nach einem Puncte **D** des Umfangs gezogen, mit dem Einfallslothe **DE** gleiche Winkel oder mit der Berührungslinie **FDG** gleiche Winkel machen*). Diese Eigenschaft der Ellipse bewirkt, daß ein von **A** ausgehender, in **D** antreffender Lichtstrahl nach **B** reflectirt wird, wenn die spiegelnde Oberfläche nach der Ellipse gebildet ist, und da dies für jeden Punct, der von **A** ausgehende Strahl mag in **D** oder in **d** oder in d^1 antreffen, ebenso geschieht, so entsteht in **B** ein stark erleuchtetes Bild des Punctes **A**. Auf eben dieser Eigenschaft beruht die Zurückwerfung und Sammlung der Wellen, wie sie (**Fig. 107.** des ersten Theils) in den früheren Vorlesungen angegeben ist, und das Hören des Echo an diesem bestimmten Puncte.

Diese Eigenschaft des elliptischen Spiegels hat **Amici** zur Darstellung eines Bildes kleiner Gegenstände benutzt, indem sich leicht ergiebt, daß wenn der Punct **A** ein Bild in **B** darstellt, auch die zunächst liegenden Puncte auf ähnliche Weise Bilder geben, also den ganzen Gegenstand, der allemal nur sehr klein ist, bei **B** im Bilde zeigen werden. **Amici's** Microscop enthält nun am einen Ende des Rohres **AB** (**Fig. 73.**) einen elliptischen Spiegel **E**, der nämlich durch Umdrehung eines um den Scheitel liegenden Theiles der Ellipse um die Axe ebenso entsteht, wie die Kugelfläche durch die Umdrehung eines Kreises um seinen Durchmesser. Zwischen seinem nächsten Brennpuncte **C** und dem Scheitel **E** befindet sich ein kleiner ebner Spiegel **hi**, und vor der Oeffnung neben **L** das zu beobachtende Object **L**. Nach dem Gesetze des ebnen Spiegels kommen die von **L** ausgehenden, von **hi** reflectirten Strahlen so auf den elliptischen Spiegel **E**, als ob sie von dem

---

*) Um die Ellipse zu zeichnen, kann man den Kreis **HIKLM** (**Fig. 72.**) zeichnen; gegen den Durchmesser **HL** eine Reihe senkrechter Linien ziehen, und ihre zwischen dem Durchmesser und dem Kreise liegenden Theile alle in gleichem Verhältnisse theilen, z. B. **ND** eben so gut $= \frac{2}{3}$ **NI**, wie **PQ** $= \frac{2}{3}$ **PK**; dann liegen diese Theilungspuncte **D**, **Q**, auf dem Umfange der Ellipse. Zieht man eine Senkrechte **KP** durch den Mittelpunct **P** des Kreises, und nimmt den Halbmesser **PL** zwischen die Cirkelspitzen, um damit von **Q** aus die Entfernungen **QB** = **QA** = **PL** aufzutragen, so sind **A**, **B** die Brennpuncte der Ellipse.

Bilde C hinter dem Spiegel ausgingen, und das Object muß daher so gestellt werden, daß sein Bild genau mit dem Brennpuncte C zusammentrifft. Ist dieses der Fall, so geben die auf den elliptischen Spiegel auffallenden Strahlen ein Bild im zweiten Brennpuncte G, welches durch die Oculare genau so, wie das Bild in den gewöhnlichen Microscopen, betrachtet wird. Dieses Microscop gewährt den Vortheil, daß der Gegenstand in L gar nicht so sehr nahe an die Haupttheile des Instrumentes hinangerückt zu werden braucht, und daß er immer an seiner Stelle bleibt, wenn man auch in M neue Oculare anschraubt, statt daß bei den dioptischen Microscopen das dem Gegenstande allemal sehr nahe Objectivglas muß verändert werden, wenn man die bedeutendsten Aenderungen der Vergrößerung hervorbringen will. Die vorzüglich gelungene Ausführung, die Amici diesem Instrumente zu geben gewußt hat, ist nun freilich wohl der Hauptgr"nd der günstigen Resultate, die dieses Instrument gegeben hat; aber auch in der Anordnung selbst liegen allerdings Vorzüge, die sehr bedeutend sind, zum Beispiel der, daß der Gegenstand $\frac{1}{2}$ Zoll von der Röhrenwand ganz frei stehend der Beleuchtung viel besser ausgesetzt ist, als ein dem Objectivglase so sehr nahe gerückter Gegenstand, wie man ihn bei dioptrischen Microscopen und starker Vergrößerung nothwendig aufstellen muß. Den Umstand, der von der Farbenzerstreuung abhängt, daß nämlich der Spiegel keine Farbenzerstreuung giebt, kann ich hier nur obenhin erwähnen.

Das Sonnenmicroscop. Die Zauberlaterne.

Um aber nun die Mittel, die man zur Vergrößerung kleiner Gegenstände besitzt, vollends anzugeben, muß ich noch das Sonnenmicroscop erwähnen, ein Instrument, das den Vortheil gewährt, die Vergrößerung bis zum höchsten Grade zu treiben, das aber dennoch zu genauen Beobachtungen nicht tauglich ist, weil die, freilich sehr großen, Bilder nicht den Grad von Schärfe und Bestimmtheit haben, welche man fordern muß, wenn es darauf ankömmt, feine Gegenstände so zu sehen, daß ihre Betrachtung zu nützlichen Schlüssen führen, und unsre Kenntniß über ihre wahre Beschaffenheit berichtigen kann. Es ist Ihnen bekannt, daß das Bild eines Gegenstandes, welches sich an der andern Seite der

Glaslinse bildet, immer größer wird, je weiter es in die Ferne rückt; dieses in immer größere Ferne Hinausrücken tritt aber ein, wenn bei einer einfachen Linse der Gegenstand sich dem Brennpuncte sehr nähert; und es ist daher nur nöthig, den Gegenstand recht sehr nahe an den Brennpunct zu bringen, um in 10 oder 20 Fuß Entfernung ein ungemein großes Bild zu erhalten. Dieses an einer Wand oder großen weißen Tafel aufgefangene Bild ist es, welches das Sonnenmicroscop darstellt, dessen Haupt-Einrichtung also von der einen Seite nur darin besteht, dem Gegenstande eine Stellung ein wenig von dem Brennpuncte entfernt zu geben, und ihn so zu stellen, daß das Bild auf die Wand fällt. Aber bei gewöhnlicher Beleuchtung, selbst wenn man sie durch Spiegel und Sammelgläser verstärkte, würde ein stark vergrößertes Bild so matt erleuchtet sein, daß man es nicht einmal wahrnehmen, viel weniger in seinen einzelnen Theilen beobachten könnte. Man wendet deshalb das Sonnenlicht auf eine wirksamere Weise an, indem man das Rohr, worin sich die Linse befindet, in die Oeffnung am Fensterladen eines finstern Zimmers einsetzt, und nun die Sonnenstrahlen entweder unmittelbar grade durch dieses Rohr einfallen oder vermittelst einer Zurückwerfung von einem außen angebrachten Spiegel den Gegenstand treffen läßt. Aber um die Erleuchtung aufs höchste zu verstärken, läßt man nicht allein (Fig. 74.) die vom Spiegel **AB** reflectirten Sonnenstrahlen so in der Richtung des Rohres **CD** einfallen, sondern concentrirt sie noch durch ein Sammelglas **CE**, damit sie dicht vereinigt den Gegenstand **M** treffen, der dem Brennpuncte des Glases **DF** ganz nahe liegend sein Bild an der Wand **GH** darstellt. Besteht nun der Gegenstand, wie zum Beispiel der Flügel einer Fliege, aus durchsichtigen Theilen, zwischen welchen undurchsichtige Aederchen oder Fasern liegen, so zeigt die starke Beleuchtung der durchsichtigen Theile, oder das durch diese in reicher Menge durchgehende Licht, das Bild an den entsprechenden Stellen erleuchtet, an den Stellen, welche den undurchsichtigen Theilen entsprechen, ist das Bild unerleuchtet, und diese erscheinen daher als mehr oder minder deutliche Schatten begrenzt. Obgleich nun bei **1000**maliger Vergrößerung des Gegenstandes das Licht der hellen Theile sehr geschwächt ist, so bleibt doch bei so mächtiger Beleuchtung noch immer ein hinreichender Unterschied kenntlich; aber

für das Erkennen der kleinsten Theile in ihren zarten Umrissen reicht dieses Bild nicht hin.

Die bekannte Zauberlaterne beruht auf ganz ähnlichen Gründen, nur ist hier das nach der Richtung des Rohres einfallende Licht das Licht einer Lampe, noch durch einen dahinter stehenden Spiegel verstärkt; bei M befindet sich ein mit halbdurchsichtigen Farben auf Glas gezeichneter Gegenstand, dessen vergrößertes farbiges Bild an der Wand bekanntlich das ist, was uns die Zauberlaterne darstellen soll. Je entfernter es aufgefangen wird, desto größer erscheint es an der Wand.

Achte Vorlesung.

Die Anwendungen der Linsengläser, von welchen ich Sie neulich unterhalten habe, waren alle bestimmt, sehr kleine Gegenstände uns größer zu zeigen, und so uns mit dem, was unermeßlich klein für den gewöhnlichen Anblick erscheint, genau bekannt zu machen, uns die Anordnung der feinsten Theile der organischen Körper, die Gesetze, nach welchen die Natur in ihnen sich thätig zeigt, kennen zu lehren, uns eine neue Welt in dem kleinsten Wassertropfen zu eröffnen, der den darin lebenden Geschöpfen einen für ihre Kleinheit schon sehr ausgedehnten Schauplatz ihrer Wirksamkeit darbietet. Mit Bewunderung vertieft sich unser Blick und unsre Betrachtung in der Wahrnehmung dieser Unendlichkeit in dem beschränktesten Raume, dieser kunstvollen Bildung, die immer noch etwas Neues in immer zarteren Geädern und Gefäßen zeigt, je mehr sich unsre Instrumente verbessern, und uns Ordnung und Zweckmäßigkeit über alle Grenzen der Kleinheit hinaus bis ins Unendlich kleine ahnden läßt. Aber zu noch wichtigeren und eben so erstaunenswürdigen Entdeckungen hat die zweite Anwendung der Linsengläser in den Fernröhren geführt. Schon die erste Entdeckung der Fernröhre zog schnell die Aufmerksamkeit der Welt auf sich,

und eben dadurch, daß in sehr kurzer Zeit ihre einfache Construction von mehrern Künstlern aufgefaßt und nachgeahmt wurde, scheint die genaue Kunde, wer der erste Erfinder gewesen ist, beinahe verlohren gegangen zu sein. Brillenmacher in Middelburg (ob Johann Lippersheim oder Zacharias Janssen [Johanns Sohn] oder Metius ist nicht ganz entschieden) haben zuerst, schon vor 1609, Fernröhre verfertigt; Galiläi erhielt von dieser Kunst, durch Gläser entfernte Gegenstände deutlicher zu sehen, Nachricht, und erfand nun durch eigenes Nachdenken 1609 im April oder Mai die Einrichtung, die noch das Galiläische Fernrohr heißt; aber auch schon in eben dem Jahre scheint *) man in London sich so mit ihrer Verfertigung beschäftigt zu haben, daß man sie zum Verkauf ausbot. Das Erstaunen, welches diese Kunst, Gegenstände auf der Erde besser zu sehen, und am Himmel ganz neue Gegenstände zu entdecken, mag hervorgebracht haben, kann indessen kaum größer gewesen sein, als das Erstaunen, mit welchem wir in unsern Tagen die großen Verbesserungen kennen gelernt haben, die Herschel den Spiegeltelescopen, Fraunhofer den dioptrischen Fernröhren gegeben hat, von deren Erfolg ich Ihnen bald mehr sagen werde.

Das astronomische Fernrohr.

Wenn man Fernröhre aus zwei Gläsern machen will, so bietet sich uns, als sich anschließend an die schon angestellten Betrachtungen, dasjenige Fernrohr zuerst dar, welches man jetzt das Keplersche oder astronomische nennt. Es ist nämlich gewiß, daß ein dem Einfallen der Lichtstrahlen von sehr entfernten Gegenständen senkrecht dargebotenes Linsenglas, das Objectiv, auch von diesem ein Bild und dieses zwar ganz nahe am Brennpuncte, oder im Brennpuncte selbst darstellen wird; und daß wir dieses, seiner Kleinheit wegen nicht bequem mit bloßem Auge wahrzunehmende Bild deutlich müssen sehn können, wenn wir es durch ein zweites Linsenglas, das Ocular, vergrößert sehen. Diese Zusammenfügung zweier Linsen giebt das astronomische Fernrohr, bei welchem wir zuerst den

*) Vgl. auch Gehlers Wörterbuch Th. IV. S. 144.

Grund, warum man entfernte Gegenstände deutlich sieht, dann warum man sie vergrößert sieht, näher betrachten wollen.

Um die erste Frage zu beantworten, brauche ich nur die von einem einzigen, sehr entfernten Puncte ausgehenden Strahlen, die parallel auf das Objectivglas bAB (Fig. 75.) fallen, zu zeichnen, SA, sB, und Sie zu erinnern, daß diese im Brennpuncte F sich vereinigen, und nun von ihm ausgehend das Augenglas DE so erreichen, daß, wenn dieses seinen Brennpunct zugleich auch in F hat, sie parallel aus dem Augenglase hervorgehen, also dem Auge O den entfernten Punct deutlich zeigen, wenn das Auge gewohnt ist, entfernte Gegenstände deutlich zu sehen; aber die Gegenstände erscheinen auch vergrößert. Wenn nämlich ST einen sehr entlegenen Gegenstand andeutet, der einem in A stehenden Auge unter dem Sehewinkel SAT erscheinen würde, so stellt sich von diesem um den Brennpunct F ein solches Bild dar, das dem eben so großen Sehewinkel FAt entspricht. Alle mit SA parallel einfallenden Strahlen kommen in F, alle mit TA parallel einfallenden Strahlen kommen in t zusammen, und gelangen, indem sie durch diese Vereinigungspuncte durchgehen, auf das Augenglas DE, wo die erstern sowohl in eine unter sich parallele Richtung gebrochen werden, als die letztern, also die von F kommenden nach Do, FO, Eo, die von t kommenden nach EO, tP, fortgehen. Die erstern Richtungen Do, FO, Eo, sind wir schon gewohnt, als mit der Axe des Fernrohrs parallel anzusehen, indem wir, weil F der wahre Brennpunct ist, die von ihm ausgehenden Strahlen als der Axe des Glases parallel werdend kennen; die in t gesammelten Strahlen erreichen ebenfalls, so weit die Größe des Augenglases es gestattet, das Augenglas; derjenige unter ihnen, welcher durch die Mitte des Augenglases geht, kömmt fast durchaus ungebrochen, also in der Richtung tP an der andern Seite des Glases an, und mit ihm parallel gehen die übrigen von t ausgehenden, durch den Punct t als Vereinigungspunct durchgegangenen Strahlen, aus dem Augenglase hervor. Befindet sich also ein Auge in O, so sieht es den Punct F oder den Gegenstand S durch die Mitte des Glases, den Punct t oder den Gegenstand T durch einen gegen den Rand des Augenglases hin liegenden Punct E; beide Gegenstände erscheinen deutlich, weil die von einem Puncte ausgegangenen

Strahlen nach den Brechungen parallel ins Auge kommen; sie erscheinen um den Sehewinkel **EOK** von einander entfernt, der mit **tKF** gleich groß ist, weil **EO** und **tK** parallel sind. Hieraus ergiebt sich eine sehr leichte Bestimmung der Vergrößerung. Da nämlich bei so kleinen Winkeln die Regel statt findet, daß der Winkel **tKF**, unter welchem die Linie **Ft** erscheint, den Abständen umgekehrt proportional ist, das heißt, daß der Winkel auf die Hälfte oder das Drittel herabgeht, wenn die Entfernung doppelt oder dreimal so groß wird, so giebt das Verhältniß der Brennweiten beider Gläser die Vergrößerung an, die nämlich eben so vielfach ist, als die Brennweite **FK** in der **FA** enthalten ist. Hiernach wird daher eine sehr starke Vergrößerung am leichtesten dann zu erhalten sein, wenn die Brennweite des Objectives sehr groß ist, und bei den ehemals von Huyghens und Andern gebrauchten Gläsern von 100 Fuß Brennweite, hätte ein Ocular von 1 Zoll Brennweite eine 1200malige Vergrößerung im Durchmesser hervorgebracht, so daß die Vergrößerung fast unbegrenzt scheinen könnte, wenn nicht noch andre Umstände in Betrachtung zu ziehen wären.

Außer der Vergrößerung, welche ein Fernrohr gewährt, läßt sich aus dem Wege der Lichtstrahlen auch noch die Größe des Gesichtsfeldes bestimmen. Wir übersehen mit dem Fernrohre nur einen sehr beschränkten Raum auf einmal; dieser Raum ist es, den wir das Gesichtsfeld nennen. Um die Größe desselben zu bestimmen, braucht man nur zu bedenken, daß die durch die Mitte des Objectives **BAb** einfallenden Strahlen, die am wesentlichsten beitragen, um den Gegenstand gut zu sehen, ganz unnütz bleiben, wenn sie das Augenglas nicht mehr treffen, daß man also nur diejenigen durch die Mitte des Objectivglases einfallenden Strahlen noch gebrauchen kann, die in der vom Rande des Oculars nach der Mitte des Objectivs gezogenen, über das Objectiv hinaus verlängerten graden Linie liegen. Daraus folgt, daß der Winkel **EAK**, oder die scheinbare Größe des halben Oculars von A aus gesehen, der Halbmesser des Gesichtsfeldes ist. Um diese durch die Mitte des Objectivs gehenden Strahlen alle mit dem Auge aufzufangen, muß man das Auge in O, etwas weiter vom Augenglase entfernt halten, als die Brennweite **KF** angiebt, nämlich da, wo die nach

dem Rande E gezogene EO mit tK parallel ist. Hiernach wäre es vortheilhaft, sich eines ziemlich großen Oculars zu bedienen, damit das Gesichtsfeld groß würde; aber wenn die Vergrößerung nicht zu geringe sein soll, so muß die Brennweite KF klein, aber eben darum auch die Breite des Oculars geringe sein, weil man sich bei kleinen Brennweiten auch nur kleiner Theile der Kugelflächen für die Oberflächen der Gläser bedienen darf. Hierin liegt also ein Grund, warum man bei einer größern Brennweite des Oculars ein größeres Gesichtsfeld, aber auch nur schwächere Vergrößerung erhalten kann, und zum Beispiel bei stärkeren Vergrößerungen sehr gewöhnlich den Mond nicht ganz übersieht, da doch bei schwachen Vergrößerungen ein weit größerer Raum auf einmal beobachtet werden kann.

Noch einige Bemerkungen, die dieses Fernrohr betreffen, kann ich nicht wohl übergehen; werde aber das, was in ähnlicher Beziehung bei den übrigen Einrichtungen der Fernröhre angeführt werden könnte, dort nicht wiederholen, indem sich dort das hier Gesagte leicht wird anwenden lassen. Die erste dieser Bemerkungen betrifft die Frage, wie ein Kurzsichtiger das Fernrohr anwenden muß, um entfernte Gegenstände deutlich mit demselben zu sehen. Die Einrichtung aller Fernröhre ist so, daß man das Augenglas ein wenig mehr dem Objective nähern oder es davon entfernen kann, und Sie können sich leicht überzeugen, daß der Kurzsichtige das Ocular ein wenig hineinschieben muß. Schon bei dem einfachen Linsenglase, wenn wir es als Vergrößerungsglas gebrauchen, habe ich bemerkt, daß der Kurzsichtige das Glas etwas näher an den Gegenstand rücken muß, damit er die von einem Puncte, näher als die Brennweite liegend, ausgehenden Lichtstrahlen etwas divergirend empfange, das heißt so, wie Lichtstrahlen, die von einem ziemlich nahen Gegenstande ausgehen. Was dort der dem Vergrößerungsglase näher zu rückende Gegenstand war, das ist hier das Bild im Brennpuncte des Objectives, und diesem nähert man das Ocular, um einem Kurzsichtigen ein deutliches Bild zu zeigen.

Die zweite Bemerkung betrifft die Veränderung, die man in der Stellung des Oculars vornehmen muß, um nähere Gegenstände, die vielleicht nur 200 Fuß entfernt sind, deutlich zu sehen. Diese fordern, daß man das Ocular weiter herausziehe, damit das

Ocular gegen das Bild des nähern Gegenstandes eben die Stellung, wie vorhin für das Bilo des entferntern Gegenstandes erhalte; das Bild des nähern Gegenstandes liegt weiter vom Objectivglase entfernt, als das Bild des entfernteren, man muß daher auch das Ocular immer weiter herausziehen, je näher der zu beobachtende Gegenstand ist.

Eine dritte Bemerkung betrifft die Abmessung oder Schätzung der Vergrößerung. Man hört oft von denen, die selten ein Fernrohr gebrauchen, die Bemerkung, daß sie durch das Fernrohr sehend, den Mond gar nicht so erheblich vergrößert sehen, daß sie sich die Vergrößerung auffallender gedacht haben. Dieses Urtheil findet nur statt, wenn dem durch das Fernrohr sehenden Auge alle Vergleichung mit den ohne Vergrößerung gesehenen Gegenständen fehlt. Wer sich daher von der Stärke der Vergrößerung auch nur obenhin überzeugen will, dem muß man anrathen, während er mit dem einen Auge den Mond im Fernrohre deutlich sieht, das andre Auge zu öffnen, und Achtung zu geben, daß das Bild des Mondes in jenem Auge eine ganze Wand, die das andre Auge wahrnimmt, zu bedecken scheint. Dieses Mittel, das auch bei Gegenständen auf der Erde anzuwenden ist, kann sogar zu Bestimmung des Grades der Vergrößerung dienen, wenn man den Sehewinkel, unter welchem so das Bild im Fernrohre erscheint, ungefähr abzumessen sucht. Bei Vergrößerungen, die nicht viel über das Zwanzigmalige gehen, pflegt man dieses Mittel wohl so anzuwenden, daß man mit dem einen Auge durch das Fernrohr, und mit dem andern unbewaffneten Auge zugleich auch nach einem Ziegeldache sieht; dann sieht man das vergrößerte Bild einzelner Ziegel vor dem mit dem freien Auge gesehenen Dache schweben, und gewöhnt sich bei einiger Uebung leicht, beide Erscheinungen so wahrzunehmen, daß man strenge angeben kann, daß zum Beispiel drei vergrößerte Ziegel die ganze Länge des Daches scheinbar bedecken; findet man nun, daß das Dach 60 Ziegel enthält, also die natürliche scheinbare Größe von 60 Ziegeln der vergrößerten von drei Ziegeln gleich ist, so vergrößert das Fernrohr 20 mal.

Um einem Beobachter, der an Fernröhre nicht sehr gewöhnt ist, die Güte eines Fernrohres kenntlich zu machen, ist es nur in den seltensten Fällen rathsam, sein Auge auf einen Meilen weit

entfernten Gegenstand zu richten; das recht geübte Auge erkennt hier wohl die Wirkung des Fernrohres, aber da die Dünste in der Luft meistens das recht scharfe Sehen hindern, so werden kleine Theile der Gegenstände nicht klar genug sichtbar, um von dem Ungeübten in dem minder hellen Bilde wahrgenommen zu werden. Richtet man dagegen das Fernrohr auf einen Gegenstand, der etwa eine halbe Stunde entfernt ist, läßt den Beobachter nun zuerst mit dem bloßen Auge wahrnehmen, welche Theile der Häuser, Bäume u. s. w. er noch erkennt, und ihn dann durch das Fernrohr blicken, so wird er gewiß bekennen, daß er nun Gegenstände sehe, die ihm vorhin ganz unkenntlich, ja völlig unsichtbar waren; er sieht bei 20maliger Vergrößerung die Gegenstände in 10000 Fuß Entfernung beinahe so gut, wie er sie mit bloßem Auge in 500 Fuß Entfernung sehen würde, und würde sie vollkommen so gut sehen, wenn nicht einiger Lichtverlust theils in der Luft bei größern Entfernungen, theils beim Durchgange durch die Gläser statt fände.

Das galiläische oder holländische Fernrohr.

Das bisher betrachtete, nur aus zwei Gläsern zusammengefügte Fernrohr würde allen Forderungen sehr wohl entsprechen, wenn es nicht die Gegenstände umgekehrt zeigte; denn so wie das durch ein Linsenglas hervorgebrachte Bild allemal umgekehrt ist, so muß es auch hier, wo wir ein solches Bild betrachten, sein; der Lichtstrahl **tEO** (**Fig. 75.**) kömmt vom obern Theile des Augenglases ins Auge, obgleich der Gegenstand **T** unterhalb **S** liegt. Diese Unbequemlichkeit hindert den Astronomen nicht, der überdies bei oftmaliger Beobachtung sich ganz an diese Umkehrung der Lage gewöhnt; aber bei irdischen Gegenständen ist sie störend, und man kam daher bei Erfindung der Fernröhre zuerst auf diejenigen, die mit zwei Gläsern ein aufrechtes Bild geben, und in der neueren Zeit hat man Zusammenfügungen aus mehreren Gläsern erfunden, um den gesehenen Gegenstand aufrecht zu sehen.

Jenen ersten Zweck, durch zwei Gläser die Gegenstände in der richtigen Stellung zu sehen, erreicht man durch das holländische oder galiläische Fernrohr, — dasjenige, welches zuerst erfunden worden ist. Dieses besteht zwar auch aus einem convexen Ob-

jectivglaſe, aber aus einem concaven Oculare. Das letztere ſteht dem erſteren näher als das hervorgebrachte Bild, und das Auge ſieht den Gegenſtand durch Strahlen, die noch nicht zu einem Bilde vereinigt worden ſind. Wenn nämlich zuerſt nur (Fig. 76.) von Strahlen, die mit der Axe CD des Objectives parallel einfallen, die Rede iſt, ſo erhellt, daß, wenn ſie, gegen den Brennpunct D zuſammengehend, ſchon vorher von dem Hohlglaſe EG aufgefangen werden, und dieſes ſo ſteht, daß D ſein Zerſtreuungspunct iſt, dieſe Strahlen aus dem letztern parallel hervorgehen, und nun kein Bild bei D bilden, aber dem Auge in O, wenn es durch parallele Strahlen deutlich ſieht, eine deutliche Darſtellung des in der Richtung CS liegenden Punctes gewähren. Um zu überſehen, daß die Gegenſtände durch dieſe Verbindung zweier Gläſer aufrecht in ihrer wahren Stellung erſcheinen, dienen folgende Ueberlegungen. Wenn TC ein Lichtſtrahl iſt, der von einem unterwärts S ſehr entfernt liegenden Puncte ausgeht, ſo gehn alle von ihm kommenden, unter ſich parallelen Strahlen, nach ihrer Brechung im Objectivglaſe dem Puncte d zu, wo ſie ſich ſammeln würden, wenn ſie ihn erreichten. Aber aufgefangen von dem Oculare EG, gelangt der durch die Mitte des Oculars gehende Strahl HO ohne neue Brechung zum Auge, und für die angenommene Stellung des Oculars, werden auch die übrigen Strahlen, die von T kommen, mit HO parallel, die von S kommen, mit SD parallel hervorgehen. Das Auge in O ſieht alſo den Punct T in der Richtung OH, den Punct S in der Richtung OS, jenen alſo unterhalb S, der wirklichen Lage entſprechend, folglich den Gegenſtand aufrecht. Auch hier iſt die Vergrößerung durch das Verhältniß der Brennweite CD zur Zerſtreuungsweite OD ausgedrückt, alſo zum Beiſpiel 10malig, wenn jene 10mal ſo groß als dieſe iſt. Dieſes Fernrohr hat die Unbequemlichkeit, nur ein kleines Geſichtsfeld darzubieten, welches über das ſehr abnimmt, wenn man das Auge etwas weiter von dem Augenglaſe entfernt. Man wendet deßhalb dieſes Fernrohr jetzt nur noch da an, wo man mit 3 oder 4maliger Vergrößerung zufrieden iſt, indem hier das Augenglas ziemlich breit und dabei das Geſichtsfeld hinreichend groß werden kann. Solche ſchwach vergrößernde Fernröhre ſind die kurzen Fernröhre, deren man ſich im Theater und in an-

dern Fällen bedient, wo man in nicht weite Fernen sehr scharf sehen will.

Das Erdfernrohr.

Für stärkere Vergrößerungen gebraucht man lieber ein mit mehreren Ocularen versehenes Fernrohr, das man das Erdfernrohr nennt. Es kann drei oder vier Gläser in der Ocularröhre verbunden, enthalten; da aber unsre gewöhnlichen Fernröhre vier zu enthalten pflegen, so will ich darauf meine Erklärung einrichten. Wenn man ein Fernrohr, das ungefähr 24 Zoll Länge hat, wenn es zum Sehen in die Ferne gehörig ausgezogen ist, aus einander nimmt, so findet man in der vordern Zugröhre vier Gläser, die alle convex sind, und die man sämmtlich Oculare nennt. Sie behalten ihre Lage gegen einander unverändert, können aber dem Objective genähert oder von demselben entfernt werden; ich will sie nach ihrem Abstande vom Objective das erste, zweite, dritte, vierte, nennen, so daß das vierte am Auge gehalten wird. Ist das Fernrohr richtig ausgezogen, so daß ein gut in die Ferne sehendes Auge entfernte Gegenstände deutlich sieht, so liegt bei diesem Fernrohre das durch das Objectiv hervorgebrachte umgekehrte Bild ganz nahe vor dem ersten Oculare. Da es diesem Glase näher liegt, als der Brennpunct, so behalten die von einem Puncte des Bildes ausgehenden Strahlen auch an der andern Seite des Glases noch eine divergirende Richtung, jedoch mit geringerer Divergenz, als vor dem Glase. Das zweite Ocular fängt sie auf und macht sie convergent, aber noch ehe sie sich vereinigen, fängt das dritte Ocular sie auf, um sie noch mehr convergent zu machen, und in einem Sammelpuncte zu vereinigen. Hier stellt sich also ein Bild dar und zwar ein umgekehrtes Bild des ersten Bildes, also ein aufrechtes Bild des Gegenstandes; und dieses befindet sich im Brennpuncte des letzten Oculars, so daß es dem durch dieses Ocular blickenden Auge deutlich erscheint. Jetzt sieht also der Beobachter den Gegenstand aufrecht. In welchem Maaße er hier vergrößert erscheint, das will ich nicht zu entwickeln versuchen, da es eine zu genaue Verfolgung des Ganges der Strahlen fordern würde. Wenn man den Gang der Strahlen genau zeichnet, so zeigt sich, daß alle brauchbaren Strahlen nahe vor dem zweiten Ocular sehr nahe zu-

sammen kommen; deshalb liegt hier eine Blendung, eine enge Oeffnung, die nur den hier eng vereinigten nutzbaren Strahlen den Durchgang zum Auge offen läßt. — Die Vortheile, welche diese Zahl und Stellung der Augengläser gewährt, kann ich hier nicht weiter aus einander setzen; einer derselben ist eine größere Ausdehnung des Gesichtsfeldes bei gleicher Vergrößerung. Einige andre Bemerkungen über die Lichtstärke der Fernröhre will ich nachher noch anführen *).

Das Spiegeltelescop.

Ein sehr wichtiges Werkzeug, um entfernte Gegenstände größer zu sehen, ist das Spiegeltelescop. Warum es von Newton empfohlen wurde, das will ich jetzt, weil es mit der Lehre von den Farben zusammenhängt, nicht erwähnen, sondern nur seine Einrichtung beschreiben, und von dem Vortheile, den ein sehr großer Spiegel, viel größer als die Objective unsrer Refractoren **) sein können, gewährt oder zu gewähren bestimmt ist, Ihnen das Wichtigste mittheilen.

Die Einrichtung des Spiegeltelescopes würde ganz einfach, nur die Betrachtung eines durch den Hohlspiegel entstandenen Bildes fordern, wenn nicht dabei die Schwierigkeit einträte, daß das Bild vor dem Hohlspiegel entsteht, und daß der dieses Bild vermittelst eines Oculars betrachtende Beobachter vor dem Spiegel stehend den aus der Ferne kommenden Strahlen den Weg zum Spiegel unterbräche; dieser Umstand hat es nöthig gemacht, in den meisten Fällen zwei Spiegel anzuwenden.

Bei dem Gregorianischen Telescop geschieht dies so, daß dem größeren Hohlspiegel AB gegenüber ein kleiner Hohlspiegel CD (Fig. 77.) steht; dieser letztere hindert zwar für einige von SS her einfallende Strahlen den Zutritt zum Spiegel AB, aber da er nur

---

*) Prechtls practische Dioptrik. (Wien 1828.) scheint mir ein vor allen empfehlenswerthes Buch über diese Gegenstände zu sein. Alle bei Fernröhren vorkommende Betrachtungen sind darin, mit Voraussetzung mäßiger mathematischer Vorkenntnisse sehr deutlich dargestellt.

**) Refractoren nennt man nämlich die aus bloßen Linsengläsern zusammengesetzten Fernröhre, Reflectoren die Spiegeltelescope.

klein zu sein braucht, so ist der dadurch verursachte Verlust an Licht nicht sehr erheblich. Der große Spiegel giebt in s t ein umgekehrtes Bild des Gegenstandes, und die durch die Vereinigungspuncte dieses Bildes gegangenen Strahlen erreichen den zweiten Hohlspiegel, dessen Stellung so gewählt ist, daß ein Gegenstand in s t ein vergrößertes Bild in u v geben würde, und folglich auch das Bild s t ein vergrößertes Bild u v hervorbringt. Damit die Strahlen dorthin gelangen können, hat der große Spiegel eine Oeffnung in der Mitte, die mit einer convexen Linse geschlossen ist, um die dem Bilde u v zu gehenden Strahlen früher zu vereinigen und schon in w x das Bild hervorzubringen, welches dann mit dem Oculare F G betrachtet wird, und, wie aus dem Vorigen erhellt, vergrößert erscheint, den Gegenstand unter einem größern Sehewinkel darstellt.

Das Newtonsche Telescop enthält, um den großen Spiegel nicht zu durchlöchern und so den besten Theil des Spiegels aufzuopfern, einen kleinen, schiefstehenden ebnen Spiegel c d (Fig. 78.) in der Nähe der Gegend, wo das Bild aus dem großen Spiegel I K entstehen sollte. Der kleine Spiegel empfängt die Strahlen, ehe sie sich in den einzelnen Puncten des Bildes m n vereinigt haben, wirft sie aber, wie Ihnen aus früheren Betrachtungen bekannt ist, genau so zurück, als wenn sie von dem Bilde ausgingen; sie stellen daher, vom Spiegel reflectirt, vor demselben in p q das Bild dar, welches durch seitwärts angebrachte Oculare A B betrachtet wird und vergrößert erscheint. Dieser Anordnung gemäß machte auch Herschel seine ersten Spiegeltelescope; er fand aber nachher, daß man bei sehr großen Hohlspiegeln den kleinen ebnen Spiegel ganz weglassen kann, indem bei einer etwas von der Richtung nach dem zu beobachtenden Objecte abweichenden Lage der Axe, das Bild eines in der Richtung D c liegenden Gegenstandes sich in M darstellt, und dann durch Oculare, die in der Richtung der Röhre E F liegen, betrachtet werden kann.

Lichtstärke. Raumdurchdringende Kraft.

Diese Spiegeltelescope sind nicht allein zu einer starken Vergrößerung sehr geeignet, indem die Vergrößerung hier wieder desto stärker ist, je öfter die Brennweite eines einfachen Oculars in der Brennweite des Spiegels enthalten ist; sondern sie gewähren auch

eine sehr große Lichtstärke. Ueberhaupt muß, wie Sie aus dem Vorigen gewiß übersehen, die Erleuchtung des Bildes, es mag nun durch ein Linsenglas oder durch einen Hohlspiegel hervorgebracht werden, desto stärker sein, je mehrere auf dem Glase oder in dem Spiegel aufgefangene Strahlen sich in jedem Puncte des Bildes vereinigen; so lange also als die in einem Puncte des Bildes vereinigten Strahlen nach ihrem Durchgange durch das Ocular alle zum Auge kommen, sich nicht über einen größern Raum, als die Oeffnung des Auges, ausbreiten, ist es vortheilhaft, einen großen Spiegel oder ein großes Objectiv anzuwenden. Diese nach dem Maaße des aufgefangenen Lichtes steigende Erleuchtung des Bildes, oder die daraus hervorgehende starke Erleuchtung des auf der Netzhaut im Auge entstehenden Bildes ist vorzüglich da nützlich und wirksam, wo der Gegenstand so klein ist, daß er der Vergrößerung ungeachtet noch immer nur ein Bild von unmerklicher Größe auf der Netzhaut darstellt, indem da alles gesammelte Licht zur Erleuchtung dieses einzigen Punctes im Auge beiträgt. Die Fixsterne sind, wie Sie wissen, großentheils so lichtschwach, daß unser Auge sie deshalb gar nicht gewahr wird; aber wenn das wenige Licht, welches sie uns zusenden, auf einem Objectivglase von 9 Zoll Durchmesser oder auf einem großen Spiegel gesammelt und in einem einzigen Puncte der Netzhaut vereiniget wird, so ist der Lichtreitz stark genug, um selbst sehr kleine Sterne noch zu erkennen. Herschel hat diese Stärke der Fernröhre ihre Raum durchdringende Kraft genannt, indem es ganz gewiß richtig ist, daß ein Stern sechster Größe, den ein gutes Auge bei recht heiterem Himmel in dunkler Nacht noch erkennt, gewiß unkenntlich für das bloße Auge würde, wenn er doppelt so weit von uns hinausrückte, also nur ein Viertel so viel Licht auf unser Auge sendete, daß er aber wieder kenntlich werden muß, wenn ein Fernrohr viermal so viel Lichtstrahlen vereinigt; — ein solches Fernrohr hätte also doppelt soviel Raum durchdringende Kraft als das bloße Auge. Wenn alles vom Hohlspiegel aufgefangene Licht ungeschwächt zurückgeworfen würde, und wenn alles vom Objectivglase aufgefangene Licht vollkommen durchgelassen würde, so könnte man hiernach diese Raum durchdringende Kraft leicht berechnen; aber die besten Spiegel werfen nur ungefähr $\frac{13}{20}$ des empfangenen Lichtes zurück und wenn von

diesen $\frac{13}{20}$, die der große Spiegel zurückgiebt, abermals nur $\frac{13}{20}$ am kleinen Spiegel reflectirt werden, so ist diese Lichtmenge nur $\frac{17}{40}$ (eigentlich $\frac{169}{400}$) der einfallenden, so daß ein Spiegel, der 400 mal so viel Fläche hat, als die Oeffnung der Pupille des Auges, doch nur eine 170 mal so große Lichtmenge in denselben Punct vereinigt, also 13 mal soviel Raum durchdringende Kraft als das bloße Auge besitzt, wenn man den Verlust bei dem Durchgange durch das Ocular nicht beachtet. Hierauf gründet sich Herschels Angabe, daß ein 4 zolliger Spiegel eine 13 fache, ein $6\frac{1}{3}$ zolliger Spiegel eine 20 fache Raum durchdringende Kraft hat. Bei den großen Fernröhren, wo der kleine Spiegel wegfällt, z. B. bei der 24 zolligen Oeffnung eines Spiegels von 25 Fuß Brennweite, würden, weil man die Oeffnung der Pupille $= \frac{1}{5}$ Zoll, also nur $\frac{1}{120}$ des Durchmessers dieses Spiegels annimmt, $120 . 120 =$ 14400 mal so viele Strahlen aufgefangen, als im bloßen Auge, davon werden $\frac{13}{20}$ also 9360 mal so viele als im bloßen Auge im Brennpuncte vereinigt, und in eben dem Maaße wächst, abgesehen von dem Verluste in den Oculären, die Erleuchtung des Bildes im Auge. Würde ein Stern sechster Größe 96 mal so weit hinaus gerückt, als wo er sich jetzt befindet, so bekäme unser Auge nur $\frac{1}{9216}$ des Lichtes, das wir jetzt erhalten, und da jenes Fernrohr 9360 mal so viel Licht sammelt, als das bloße Auge, so hat es reichlich eine 96 fache Raum durchdringende Kraft. Die Refractoren leisten schon bei viel geringerem Durchmesser der Objective sehr viel, weil sie das Licht weniger schwächen. Nimmt man an, daß sie $\frac{9}{10}$ des empfangenen Lichtes durchlassen, so würde ein Objectiv von 9 Zoll Oeffnung etwa $45.45 = 2025$ mal so viel Licht als das bloße Auge empfangen, etwa 1820 mal so viel durchlassen, also etwa die $42\frac{3}{4}$ malige Raum durchdringende Kraft haben, (da $43.43 = 1849$ ist). — Die Beobachtungen mit dem Fraunhoferschen Fernrohre in Dorpat scheinen eine noch weit vortheilhaftere Vergleichung in Beziehung auf Spiegeltelescope zu geben, so daß man den Lichtverlust bei den Spiegeln wohl noch größer ansetzen müßte.

In eben dem Maaße, wie wir hier berechnet haben, wird allerdings auch das gesammte Licht, das im Bilde eines größer erscheinenden Gegenstandes vereiniget ist, verstärkt; aber hier ist die

Erleuchtung, die jedem Puncte des Bildes im Auge zu Theil wird, geringer. War zum Beispiel in dem vorhin angeführten 25 fußigen Spiegeltelescope 9260 mal so viel Licht gesammelt, als bei einer der Pupille gleichen Oeffnung statt fände, aber der Gegenstand erschiene unter einem 100 mal so großen Sehewinkel, sein Bild nähme (was dasselbe ist,) den 10000 fachen Raum auf der Netzhaut ein, in Vergleichung gegen den bei unbewaffnetem Auge durch das Licht gereitzten Raum; so ist die Erleuchtung für jeden einzelnen Punct des Bildes nur $\frac{926}{1000}$ dessen, was sie ohne Instrument war; nehmen wir eine 200 malige Vergrößerung, so ist diese Intensität der Licht-Erscheinung in jedem Puncte nur $\frac{926}{4000}$ oder $\frac{231}{1000}$ und nimmt mit jeder stärkeren Vergrößerung ab. Daß wir dessen ungeachtet mit einem sehr lichtstarken Instrumente auch schwach erleuchtete Gegenstände besser erkennen, ist gleichwohl richtig, indem bei schwacher Erleuchtung doch die unter größerem Sehewinkel erscheinenden Gegenstände besser gesehen werden. Wenn ein Instrument wenig Lichtstärke hat, so wird man aller Vergrößerung ungeachtet bei anfangender Dämmerung die Gegenstände nicht mehr unterscheiden, weniger sogar als mit bloßem Auge; bei einem lichtstarken Instrumente wird der Dienst, den das Instrument uns, selbst bei anfangender Dämmerung, leistet, merklich werden, indem zwar die Erleuchtung eines jeden Punctes des Bildes schwächer als bei bloßem Auge ist, aber nicht in dem Maaße, daß nicht der Vortheil der Vergrößerung das Uebergewicht behielte.

Auf diese Berechnung der Helligkeit des Bildes im Auge beruht ein von Herschel angewandtes Mittel, den Glanz der Sterne zu vergleichen. Hat man nämlich zwei gleiche Fernröhre, die einerlei Stern, so gut das bald durch das eine, bald durch das andre Fernrohr blickende Auge es zu schätzen im Stande ist, genau gleich zeigen; so richtet man nun das eine auf einen kleineren Stern, während das andre auf einen größern gerichtet bleibt; man verkleinert alsdann durch vorgelegte Ringe die Oeffnung des andern so weit, bis der hellere Stern durch dieses gesehen dem dunkleren Sterne durch jenes gesehen gleich ist. Fände sich nun, daß die Oeffnung nur den halben Durchmesser, also das Viertel der Größe, behalten hätte, so würde man das Licht des minder helleren dem Viertel des Lichtes des helleren gleich schätzen und so ferner.

Micrometer.

Mit den Fernröhren steht noch ein Gegenstand in Verbindung, den ich jedoch nur kurz erwähnen will. Der Astronom will durch die Fernröhre nicht bloß sehen, sondern er will auch messen, er will die scheinbare Größe des gesehenen Gegenstandes bestimmen und daraus die wahre Größe berechnen. Zu dieser Messung kleiner Winkel dienen die Micrometer. Schon da, wo man auch nicht zu messen beabsichtigt, pflegt ein Fadenkreutz im Felde des Fernrohrs seine Mitte zu bezeichnen, und diese Fäden befinden sich genau da, wo das letzte Bild des Gegenstandes sich darstellt, oder bei einem einfachen Oculare in dem Brennpuncte des Oculars. Das durch das Augenglas blickende Auge sieht diese Fäden deutlich, und zugleich das Bild des Gegenstandes, weil sie sich beide an derselben Stelle befinden, an derjenigen nämlich, von wo die Strahlen ausgehen müssen, um durch das Ocular gebrochen parallel in das Auge zu gelangen. Will man nun die Größe des dort entstandenen Bildes messen, so kann dazu ein beweglicher Faden, parallel mit einem jener Kreutzfäden, dienen. Stellt man nämlich das Fernrohr so, daß der zu messende Planet, um nur ein Beispiel zu nehmen, den einen der Kreutzfäden berührt, und bringt man nun durch die zu diesem Zwecke angebrachte Schraube den beweglichen Faden ebenfalls zur Berührung des im Fernrohr gesehenen Bildes, so daß der Planet zwischen beiden parallelen Fäden von ihnen berührt erscheint, so ergiebt die Schraube, wie viele Schrauben-Umgänge weit die Fäden von einander ab standen, folglich wie groß das Bild im Fernrohre war. Diese wahre Größe des Bildes giebt die Größe des Sehewinkels, entweder durch die Berechnung des Ganges der Lichtstrahlen im Fernrohre oder durch Vergleichung mit einem auf der Erde in bestimmter Entfernung beobachteten Gegenstande, dessen scheinbare Größe man kennt und mit den Angaben des Micrometers vergleicht. Mit dieser Einrichtung stimmen die meisten Micrometer, wenn gleich die Art, wie das Bild gemessen wird, verschieden ist, der Hauptsache nach überein *).

---

*) Man hat mit Recht die Frage aufgeworfen, warum diese sehr feinen Fäden, im Brennpuncte des Objectivs ausgespannt, nicht ver-

Man bedient sich aber noch einer zweiten, wesentlich verschiedenen Art von Micrometern, wo zwei Bilder hervorgebracht und beobachtet werden; diese sind unter dem Namen Heliometer, Sonnenmesser, bekannt. Um ihre Einrichtung zu verstehen, muß ich Sie zuerst auf einen Umstand aufmerksam machen, dessen Richtigkeit Sie aus dem Vorigen vollkommen übersehen werden, und den Sie auch leicht durch einen Versuch prüfen können. Wenn Sie ein convexes Linsenglas aufstellen, um das Bild eines Gegenstandes hinter demselben aufzufangen, so können Sie die Hälfte des Glases bedecken, ohne daß das Bild dadurch in seiner Gestalt und Genauigkeit leidet, sondern es wird nur merklich lichtschwächer; die Strahlen von der bedeckten Hälfte des Glases hätten zwar neue Strahlen zu Erleuchtung der einzelnen Puncte des Bildes hinzu gelangen lassen, aber die Form und Größe des Bildes hätten sie nicht anders bestimmt. Es läßt sich also mit jeder Hälfte eines in zwei Hälften zerschnittenen Objectives ein Bild eines Gegenstandes hervorbringen, und die Bilder, die durch beide genau gleiche Hälften hervorgebracht werden, sind, wenn beide Hälften getrennt sind, genau gleich. Stellen Sie sich nun am Ende eines gewöhnlichen Fernrohres die eine Hälfte des Objectivs fest eingesetzt, die andre aber auf die Art beweglich vor, daß sie mit Hülfe einer Schraube in der Richtung der Theilungslinie fortgeschoben werden kann, daß also die bewegliche Hälfte **DE** (**Fig. 79.**) ungefähr in einer solchen Stellung, wie die Figur zeigt, gegen die feststehende Hälfte **AB** sich befindet. Die feststehende Hälfte wird das Bild eines nahe an der Axe des Fernrohrs stehenden Gegenstandes immer in **F** zeigen; das durch die andre Hälfte hervorgebrachte Bild **f** dagegen wird

---

brennen, wenn man das Fernrohr auf die Sonne richtet, da sie doch der ganzen Hitze des Brennpunctes ausgesetzt sind. Ich habe mir diese Frage sogleich dadurch beantwortet, daß ein so feiner, zugleich viel Licht reflectirender Faden nicht genug erhitzt werde, und habe deshalb mit feinen Zwirnfäden und Seidenfäden, die doch schon ungemein dick gegen jene Spinnewebenfäden sind, Versuche im Brennpuncte einer 5 zolligen Linse angestellt. Ein schwarzer Faden verbrannte sogleich, ein rother Seidenfaden auch, ein feiner weißer Zwirnsfaden konnte aber schon mit vieler Sicherheit in den Brennpunct gebracht werden, obgleich drei oder vier Fäden zusammengedreht, auch wenn sie weiß waren, in Brand geriethen.

sich desto mehr entfernen, je weiter man **DE** hinaufschraubt. Wählt man also die Stellung der beweglichen Halblinse so, daß der unterste Punct des Bildes f den obersten Punct des Bildes F berührt, so lernt man die Größe jedes dieser beiden Bilder kennen; denn da die Hälfte **DE** so fortgeschraubt wird, daß die Axen beider Hälften immer parallel bleiben, so giebt die Schraube an, um wieviel die Halblinse oder um wieviel ihre Axe fortgerückt ist, und dieses ist die Größe des Bildes, aus welcher sich, wie bei andern Micrometern, die scheinbare Größe des Gegenstandes, der Sehewinkel, unter welchem er erscheint, ergiebt.

Strahlenbrechung in der Luft.

Ich verlasse endlich die Instrumente, um Sie auf einige Erscheinungen in der Atmosphäre aufmerksam zu machen, die ebenfalls von der Brechung der Lichtstrahlen abhängen; — Erscheinungen, die zum Theil so auffallend sind, daß sie als Zauberbilder von den Bewohnern der Gegenden, wo sie sich am schönsten zeigen, angesehen werden. Ehe ich zu diesen, als den seltneren und schwierigeren übergehe, muß ich mit der einfachen Bemerkung, daß auch in der Atmosphäre das Licht gebrochen wird, anfangen. Die Erde ist bekanntlich mit kugelförmigen Luftschichten umgeben, die gegen die Oberfläche der Erde zu immer dichter werden. So wenig Dichtigkeit diese Schichten auch besitzen, so wird doch der schief auf sie auffallende Lichtstrahl etwas gebrochen, und jedes Gestirn erscheint uns daher etwas höher stehend, als es sollte, wenn keine Atmosphäre da wäre, indem der Lichtstrahl (Fig. 80.) **AB**, wenn er bei **B** in die Atmosphäre eintritt, ein wenig und nach und nach immer mehr, gegen das Perpendikel zu gebrochen wird. Diese Brechung des Lichtstrahles in der Luft ist meistens geringe, indeß bemerkt der Astronom sie selbst bei hohen Stellungen der Gestirne; nahe am Horizonte aber macht sie sich oft selbst dem gewöhnlichen Beobachter kenntlich. Im Allgemeinen ist offenbar, daß je dichter die Luft ist, desto größer wird die Brechung sein, und hieraus erhellt, warum man bei einer möglichst genauen Bestimmung der Strahlenbrechung, wenn man diese nämlich nicht aus der Beobachtung folgern, sondern theoretisch berechnen will, den Stand des Barometers und Thermometers kennen muß. Ebenso ist einleuchtend, daß

bei Gestirnen, die nahe am Horizonte stehen, die Refraction grö-ßer, als bei höherem Stande, sein wird, da, wie Sie wissen, die Aenderung der Richtung des Lichtstrahles erheblicher wird, wenn der Winkel, welchen dieser mit dem Einfallslothe, hier also mit der Verticallinie, macht, größer ist. Die Strahlenbrechung verlängert daher das Verweilen der Sonne über dem Horizonte, da sie uns die Sonne schon oberhalb des Horizontes zeigt, während die grade Linie zur Sonne hin noch die Erde schneidet, und ebenso wird der Untergang der Sonne durch die Strahlenbrechung verzögert. Bei dem mittleren Zustande der Atmosphäre kann man ungefähr sagen, daß eine nach dem oberen Sonnenrande gezogene Linie, von einem wenig über die Meeresfläche erhobenen Orte ausgehend, die Mee-resfläche berührt, in dem Augenblicke, wo der untere Sonnenrand sich schon scheinbar aus dem Meere erhebt. Unsre Gesichtslinie, der Weg, in welchem der Strahl zum Auge kömmt, ist nämlich eine gekrümmte Linie **FED**, die vom untern Sonnenrande aus-gehend die Meeresfläche **D** berührt, statt daß die grade Berührungs-linie einen höhern Punct träfe, und die grade zu dem Gegenstande hin gezogene Linie **DG** die Erde noch in **D, H** schneidet. Und selbst bei Gegenständen auf der Erde wird diese Krümmung in erheblichen Entfernungen merklich, so daß man beim Nivelliren auf erhebliche Weiten darauf Rücksicht nehmen muß.

So verhält es sich bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmo-sphäre, wo die Abnahme der Wärme in den höhern Luftschichten gleichmäßig und nicht so sehr merklich in geringen Höhen statt fin-det; ist aber diese Abnahme der Wärme in den höhern Luftschichten unregelmäßig, so bemerkt man mancherlei auffallende Phänomene. Um mit einem der bekanntesten anzufangen, dessen Beobachtung Ihnen gelegentlich gewiß vorkömmt, will ich Sie auf den Unter-gang der Sonne an schwülen Tagen aufmerksam machen. Sie haben gewiß oft bemerkt, wie dann die Sonne als eine ganz rothe Scheibe, aber auch zugleich als sehr abgeplattet, stark von der Kreis-form abweichend, untergeht. Wenn Sie an einem solchen Tage Ihr Auge auf die Sonne zu richten anfangen, wenn sie noch etwa 2 Grad, 4 Sonnendurchmesser, über dem Horizonte steht, so bemerken Sie schon, daß ihr horizontaler Durchmesser größer, als ihr Verticaldurchmesser ist, daß diese Ungleichheit mit jedem Augen-

blicke erheblicher wird, ja endlich sich selbst darin wahrnehmen läßt, daß die untere Hälfte der Sonne abgeplatteter, als die obere Hälfte, erscheint. Dieses ist eine Wirkung der in der Nähe des Horizontes stark zunehmenden Strahlenbrechung. Wenn der obere Rand um 32 Minuten, der untere um 33 Minuten gehoben erscheint, so ist allerdings schon die Sonne im Verticaldurchmesser um 1 Minute zu klein, aber das bemerken wir nicht; wenn dagegen der obere Rand z. B. 36 Minuten, der untere 44 Minuten gehoben würde, so erschiene der Verticaldurchmesser um ganze 8 Minuten vermindert, also nur etwa 24 Minuten groß, statt daß der Horizontaldurchmesser gegen 32 Minuten beträgt. Diese Erscheinung findet nach heißen Tagen statt, wenn bei Sonnen-Untergang die unteren Luftschichten sich bedeutend abkühlen, während in der Höhe noch die am Tage erlangte Wärme ziemlich unvermindert fortdauert.

Ungewöhnliche Erscheinungen durch Strahlenbrechung. Luftspiegelung. Fata Morgana.

Wenn man sich am Ufer des Meeres oder eines großen Stromes befindet, so daß man entfernte Gegenstände am Ufer über die Wasserfläche hin sieht, so verbindet sich mit dieser Erscheinung eine andere. Man sieht Gegenstände über der Meeresfläche hervorragen, die man sonst, ihrer großen Ferne wegen, nicht sehen konnte, die sich hinter der Wölbung der Meeres-Oberfläche verbargen, die aber jetzt, weil die Strahlenbrechung eine so sehr bedeutende Krümmung der Lichtstrahlen veranlaßt, über dem Meere sichtbar werden. Man bemerkt ferner, daß die Gegenstände nicht in ihren gewöhnlichen Verhältnissen erscheinen, daß selbst Häuser, die nur eine Meile entfernt sind, und die man immer zu sehen gewohnt ist, ganz anders, weniger hoch in Vergleichung der Breite, sich darstellen, weil auch bei ihnen die höhere Hebung des unteren Theiles in Vergleichung gegen den oberen sie als niedriger, ihre verticale Abmessung als vermindert zeigt. Die Erscheinung kann noch auffallender werden, wenn man in ein ganz flaches ebnes Land hineinsieht, indem da bei solchem Zustande der Luft die hinter einander liegenden Gegenstände, die sonst einander zu verdecken pflegen und dem Auge nur eine beschränkte Ansicht der nächsten Gegenden gestatten, nun

über einander hervorragen, die ganze hinterwärts liegende Fläche sich so zeigt, wie man sie von einem hohen Standpuncte aus sehen würde. Die ganze Gegend liegt Meilen weit vor dem Blicke offen da, so daß man statt einer horizontalen Ebne eine ziemlich ansteigende Fläche vor sich zu sehen glaubt. Damit diese Erscheinung statt finden könne, müssen durch starke Erwärmung der oberen Luftschichten diese dünne genug geworden sein, um den zuerst vom Gegenstande mit schwacher Neigung aufwärts gehenden Lichtstrahl wieder herabwärts zu brechen. Dieses ist bei der sphärischen Gestalt der Schichten möglich; denn (Fig. 81.) wenn der Strahl **A B** in **C** horizontal geworden ist, so sollte er in **D** in eine dünnere Schichte übergehen, weil er aber vom Einfallslothe abwärts gebrochen nicht in diese Schichte übergehen kann, so wird er unter eben dem Winkel zurückgeworfen, unter welchem er an diese Schichte antraf, und setzt nun seinen Weg herabwärts fort. Der Beobachter in **F** sieht dann den Meerhorizont höher als die wahre Horizontallinie **F G**, so wie es bei den vorhin erwähnten Beobachtungen der Fall ist.

Die Erscheinung einer Verdoppelung der Gegenstände, die hiemit öfters verbunden ist, wird sich besser verstehen lassen, wenn ich vorher erzähle, welche Erscheinungen einem entgegengesetzten Zustande der Atmosphäre entsprechen. Wir sind gewohnt die untere Luft immer als die dichtere und folglich als die das Licht am stärksten brechende anzusehen; aber bei starker Erhitzung der Erd-Oberfläche leidet dies Gesetz, daß die tiefern Schichten dichter als die höhern sind, merkliche Ausnahmen. Die Erde kann leicht 5 Reaum. Grade wärmer sein, als die Luft in 10 Fuß Höhe, und wenn sie dann den untersten Luftschichten auch nur 2 Gr. Wärme ertheilt, so ist die Luft dort um ein Hunderttel ausgedehnt, also nur so dicht mehr, wie sie bei unveränderter Wärme und einem um $3\frac{1}{3}$ Linie niedrigerm Barometerstande sein würde, das ist nur so dicht, als die kältere Luft in 250 Fuß Höhe ist. Bei diesem Zustande der Luft wird also ein, wenig von der Horizontallinie abweichender, herabwärts gehender Lichtstrahl in den unteren Schichten vom Perpendikel abwärts gebrochen, seine Neigung gegen den Horizont wird geringer, er wird endlich ganz horizontal, und nimmt dann, wenn er weiter geht, eine immer mehr gegen den Horizont

geneigte, aufwärts gehende Richtung an. Wenn man genau die Höhenwinkel, unter welchen ein entfernter Gegenstand erscheint, abmißt, so findet man in der That, daß die Refraction zuweilen eine herabwärts gehende ist, und daß dieses zu den Tageszeiten statt findet, wo die Erde am meisten erhitzt ist. Hiemit verbindet sich nun in völlig ebenen, durch gar keine Hügel unterbrochenen Gegenden eine Verdoppelung der Gegenstände. Wenn nämlich **A** ein Gegenstand ist, der sich schon hoch genug über der Erde befindet, um den Schichten großer Erhitzung nicht mehr anzugehören, so kann der Lichtstrahl **AB**, in ziemlicher Höhe über der Erde fortgehend, mit geringer Brechung nach **B** gelangen; die grade Linie **AB** (**Fig. 82.**) kann diesen Lichtstrahl vorstellen. Aber offenbar gelangen von **A** aus auch Lichtstrahlen in die tieferen Schichten, und da sie dort, vorzüglich in der Gegend **D**, in der erhitzten, verdünnten Luft vom Perpendikel abwärts gebrochen werden, so nehmen sie ihren Weg wieder aufwärts, und es ist möglich, daß ein zweiter von **A** kommender Lichtstrahl **ADB** nach **B** gelangt, so daß ein Auge in **B** den Gegenstand **A** doppelt sieht, so wohl in der natürlichen Richtung **BA**, als in der viel niedrigeren Richtung **BD**. Beide Lichtstrahlen sind offenbar gleich gut geeignet den Punct **A** sichtbar zu machen, und dieser zeigt sich daher verdoppelt. Eben das findet für die nahe an **A** liegenden Puncte statt; aber dabei bemerkt man das Auffallende, daß im unteren Bilde, oder in der durch den Strahl **DB** hervorgebrachten Erscheinung, die höheren Puncte **a** des Gegenstandes tiefer hinab erscheinen. Es ist nämlich nicht schwer zu beweisen, daß ein von **a** kommender Lichtstrahl tiefer in die verdünnten Schichten bei **DE** eindringen muß, um zur horizontalen und zur aufwärts gehenden Richtung zu gelangen, daß aber auf einem solchen Wege auch von **a** ein zweiter Lichtstrahl nach **B** gelangen kann und der Gegenstand **Aa** nun zum zweiten Male, so als ob er in der durch **Ff** bestimmten Richtung umgekehrt stände, erscheint.

Durch eben die Betrachtungen, die wir früher einmal anwandten, um zu zeigen, daß von der unter dem Prisma liegenden Schrift dem Auge nichts sichtbar wird, wenn das Auge so steht, daß es die volle Reflexion der Lichtstrahlen von der unteren Seiten=

fläche des Prisma's erhält, läßt sich auch hier beweisen, daß Gegenstände auf der Oberfläche der Erde jenseits E nicht mehr von dem Auge in B können gesehen werden. Da nämlich die von E ausgehenden Lichtstrahlen, selbst wenn sie anfänglich horizontal waren, gekrümmt nach B kommen, so werden alle übrigen von E ausgehenden Strahlen über B weggebrochen, und dies ist ebenso mit allen zwischen E und G vom Boden ausgehenden Strahlen der Fall. Bringt der Beobachter in B sein Auge höher hinauf, so erweitert sich sein Gesichtskreis über E hinaus, und es kommen dagegen dann die von hohen Gegenständen bei A a ausgegangenen Lichtstrahlen nicht mehr in der Richtung wie E B in das Auge; senkt man das Auge wieder herab, so scheint das umgekehrte Bild von A a die Gegenstände, die bei E und jenseits E sichtbar waren, zu verbergen, und man ist geneigt, es einem auf der Erde ruhenden Dunste zuzuschreiben, daß die nahen und niedrigen Gegenstände bei E nicht gesehen werden, während die höhern Theile der entfernten Gegenstände sich aufrecht und umgekehrt zugleich zeigen. Wenn diese Erscheinungen der Luftspiegelung, (denn so hat man sie oft genannt,) recht stark sind, so sieht man nicht bloß die irdischen Gegenstände, sondern auch den hellen Himmel über ihnen in diesem Bilde, und es nimmt sich daher das ganze Phänomen so aus, als ob zwischen jenen entfernten Gegenständen und dem Beobachter Wasser wäre, in welchem die Gegenstände sich abspiegelten. Diese Erscheinung ist am lebhaftesten, wenn man sich tief zur Erde herabbückt, und verschwindet oft schon, wenn man sich aufrichtet, und noch mehr, wenn man auf einem höhern Puncte seine Stellung nimmt. In heißen Tagen, wenn die Ebne recht erhitzt ist, zeigt sich die Erscheinung selbst auf nicht sehr ausgedehnten Ebnen, und noch vollkommener soll sie sich in den brennend heißen Ebnen Africa's zeigen, wo die Täuschung, daß man Wasser vor sich zu sehen glaubt, und es immer vor sich verschwinden sieht, wenn man weiter fortgeht, doppelt empfindlich ist, je mehr die Hitze die Sehnsucht nach der Erfrischung des Wassers befördert. — Bei einiger Aufmerksamkeit hat man an heißen Tagen ziemlich oft Gelegenheit in ebnen Gegenden diese Erscheinung, als ob die Gegenstände in der Luft schweben, zu sehen; aber man muß sich fast allemal des Fernrohrs bedienen, um zu erkennen, daß alle Gegen-

stände ihr gespiegeltes Bild unter sich haben; — mit Hülfe des Fernrohrs pflegt man dieses leicht wahrzunehmen.

Seltener als diese Erscheinung ist eine ähnliche scheinbare Abspiegelung oberwärts. Sie ist nie anders vorhanden, als wenn die Strahlenbrechung sehr stark, die Erhebung der Gegenstände groß ist, und sich daher die Phänomene zeigen, die ich zuerst erwähnt habe. In diesen Fällen muß es wohl zuweilen statt finden, daß in bedeutender Höhe so sehr warme Luftschichten vorhanden sind, daß durch ihre Wirkung von oberwärts her genau eben das eintritt, was ich eben als von unterwärts her entstehend beschrieben habe; man sieht nämlich umgekehrte Bilder sich an den oberen Theil der Gegenstände anfügen, ja wohl gar noch ein drittes aufrechtes Bild über dem umgekehrten. Die Erscheinung ist nur selten mit vollkommener Deutlichkeit beobachtet worden, und immer nur auf dem Meere oder bei der Aussicht über Wasser. Sie fand statt bei schwüler oder wenigstens für die Gegend ungewöhnlich warmer Witterung, meistens vor Gewittern. Man sah dann höchst entfernte Gegenstände oberhalb des Meerhorizontes, und in einigen Gegenden erschienen die Schiffe so, daß über ihren Masten ein umgekehrtes Schiff und über diesem wieder ein aufrechtes Schiff gesehen wurde. In den nordischen Meeren ist nach Scoresby's Erzählung diese Erscheinung nicht ganz selten, und da hier die Luft nahe am Meere immer durch das die Oberfläche zum Theil bedeckende Eis kalt erhalten wird, während sie oben vielleicht erheblich erwärmt sein mag, so läßt sich der Ursprung der Erscheinung in jenen Gegenden wohl einsehen *). Da aber selten diese drei Bilder rein und kenntlich hervortreten, so entstehen daraus die auffallenden Verzerrungen, die der ganzen Reihe von Gegenständen, einer ganzen Küste zum Beispiel, ein durchaus fremdes Ansehen geben. Ein ziemlich unbedeutender Eisberg oder weißer Hügel kann sich hier zu einer hohen Crystallsäule oder einem hohen weißen Schlosse umzugestalten scheinen, und der Phantasie Raum zu mancherlei Vor-

*) Scoresby's Reise zum Wallfischfange 1822, Gilb. Ann. IV. Taf. II. und III. Taf. III. Meine Beobachtungen über die Strahlenbrechung (Oldenb. 1807.) und meine Unterhaltungen für Freunde der Physik und Astronomie. 2. Hft. stellen Beispiele von diesen Erscheinungen in Abbildungen dar.

stellungen von zauberisch verwandelten Gegenständen geben, zumal da kleine Aenderungen in dem Zustande der Luft Wechsel in die Erscheinung bringen, die einem Wechsel zauberischer Verwandelungen gar wohl zu entsprechen scheinen.

Auf diese Weise ohne Zweifel entsteht die Fata Morgana an der Meer-Enge von Messina, wo sich nach der Beschreibung oft Gegenstände, die schönen Säulenreihen, prachtvollen Schlössern gleichen u. s. w., zeigen, die nach einiger Zeit in ihr Nichts zurückschwinden; — die Schlösser der Fee Morgana, wenn wir den Bewohnern jener Gegenden glauben wollen, oder verzerrt erscheinende Gegenstände der gegen über liegenden Küste, wenn Ihnen meine minder poetische Erklärung glaublicher vorkömmt.

Zittern der Gegenstände. Funkeln der Sterne.

Ehe ich diesen Gegenstand ganz verlasse, muß ich noch eine Erscheinung erwähnen, die sich mit den ungewöhnlichen Refractionen und Luftspiegelungen gewöhnlich zu vereinigen pflegt, die aber auch sonst oft beobachtet wird. Wenn Gegenstände sehr erhitzt sind, so erscheinen theils sie selbst, theils die ihnen nahen Gegenstände zitternd, und dieses Zittern, welches wir, über glühende Kohlen oder über einen heißen Ofen hin sehend, oft bemerken, hängt offenbar von Luftzügen ab. Die erhitzte Luft steigt in der kälteren Luft in die Höhe, und es bilden sich dabei Ströme hinaufgehender warmer Luft und Ströme herabgehender kalter Luft neben einander; indem nun ein Lichtstrahl im einen Augenblick in der warmen, dünneren Luft etwas anders als gleich nachher in der dichteren kalten Luft gebrochen wird, so verändert er vom einen Augenblick zum andern seine Richtung, und der Punct, von welchem er ausging, scheint uns zu zittern. Viel Regelmäßiges läßt sich in diesen wechselnden Strömen ungleicher Luftmassen nicht wahrnehmen, doch bemerkt man zuweilen, daß ein wellenförmiges Fortziehen nach der Richtung des Windes kenntlich ist, und dies besonders da, wo eine erhitzte horizontale Oberfläche beobachtet werden kann, die unter diesen Umständen nicht grade, sondern wellenförmig gekrümmt und wie Wellen sich fortbewegend erscheint.

Hiemit hängt das Funkeln der Sterne zusammen. Wenn die Luft entweder aus wärmeren und kälteren Massen oder wenn

ste mit Dünsten gemischt ist, so gelangen auch von den Sternen die Lichtstrahlen ungleich gebrochen zum Auge, und der Stern scheint uns zu zittern. Dieses Funkeln bemerken wir stärker an den Fixsternen, weniger an den Planeten, weil der scheinbare Durchmesser der Fixsterne so höchst geringe ist. Wenn zum Beispiel jene Zitterung im Funkeln 10 Secunden betrüge, so würde Sirius, der noch lange keine Secunde im Durchmesser hat, um etwas sehr bedeutendes hin und her wanken; beim Jupiter dagegen, dessen scheinbarer Durchmesser 40 Secunden beträgt, würde diese anscheinende Vorrückung nur wenig in Vergleichung gegen seinen ganzen Durchmesser betragen. Am Horizonte scheinen uns die Sterne, besonders im Fernrohr gesehen, stärker zu zittern, und oft so sehr, daß gar keine genaue Beobachtung mehr möglich ist. Dieses Zittern ist oft bedeutend dadurch verstärkt, daß man das Instrument zum Beobachten innerhalb eines offenen Fensters stehen hat, in welchem die hinausziehende warme Luft sich mit der äußeren kalten Luft mischt.

Welchen Zusammenhang mit der Witterung dieses Funkeln der Sterne habe, darüber wage ich nicht etwas zu sagen. Es ist oft sehr lebhaft bei großer Kälte, oft auch bei feuchter Luft, und da es von ungleicher Erwärmung abhängen kann, so ist es wohl möglich, daß zuweilen selbst örtliche Umstände darauf einwirken können.

Neunte Vorlesung.

Diejenigen Erscheinungen, m. h. H., die von der Brechung des Lichtes auf eine solche Weise abhängen, daß wir dabei an die Farbenzerstreuung nicht nothwendig zu denken brauchen, sind so überaus zahlreich, daß ich Sie lange Zeit damit habe unterhalten müssen; und obgleich es vielleicht von der einen Seite zweckmäßiger scheinen könnte, zuerst auch die Gesetze der Farben-Erscheinungen zu entwickeln, so schien mir doch die Zusammenstellung jener An-

wendungen der Brechungstheorie darum angenehm, weil das Anknüpfen zahlreicher Phänomene an diejenigen theoretischen Betrachtungen, denen sie zunächst angehören, am besten dient, diese theoretischen Untersuchungen vollständig und vielseitig durchzuführen. Endlich, nachdem so zahlreiche Anwendungen unsre Fortschritte in der Untersuchung der Haupt-Erscheinungen des Lichtes aufgehalten haben, gehe ich denn zu der wichtigen Bemerkung über, daß fast keine Brechung des Lichtes ohne Farben statt findet.

Ungleiche Brechbarkeit der Farbenstrahlen.

Wenn Sie ein weißes Papier auf einen schwarzen Grund gelegt durch das Prisma betrachten, so zeigt es einen schönen Farbenrand, und jeder auf dem Papiere aufgezeichnete schwarze und farbige Punct, ja jedes zu einem Schatten Anlaß gebende Fältchen bietet eine gleiche Farben-Erscheinung dar. Die Farben zeigen sich immer in derselben Ordnung, die wir sogleich durch die von Newton zuerst angestellten entscheidenden Experimente wollen kennen lernen.

Um den Gang der Lichtstrahlen zu beobachten, ist es immer am vortheilhaftesten, einen möglichst eng begrenzten Sonnenstrahl in ein sonst völlig dunkles Zimmer einzulassen. Wenn dieser durch eine kleine runde Oeffnung einfällt, so zeigt sich auf einer in mehr oder minder großer Entfernung dem Strahle senkrecht dargebotenen Tafel ein rundes Sonnenbild, das sich entfernter von der Oeffnung immer größer zeigt, und welches daher entsteht, daß Strahlen von allen Puncten der Sonne kommend sich in der Oeffnung durchschneiden, und daher von der Oeffnung ausgehend, wieder einen Kegel bilden, so wie sie vor dem Hingelangen zur Oeffnung einen Kegel bildeten, dessen Grundfläche die Sonne sein würde, wenn wir ihn bis dahin verfolgen wollten. Dieses weiße, runde Sonnenbild, welches durch graden Fortgang der Strahlen hervorgebracht wird, wird durch ein den Strahlen dargebotenes Prisma nicht bloß von seinem Platze gerückt, weil die Brechung im Prisma die Richtung der Strahlen ändert, sondern es wird zugleich länglich und farbig. Das weiße Licht der Sonne wird also farbig durch die Brechung im Prisma, und da wir das Violett und Blau am weitesten von dem Orte, wo

das weiße Sonnenbild lag, entfernt finden, oder mit andern Worten, da wir den Lichtstrahl, der sich violett zeigt, am meisten von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt finden, den blauen, grünen, gelben, rothen in dieser Ordnung immer weniger; so sagen wir, aus dem weißen Lichtstrahle gehen farbige Lichtstrahlen hervor, die ungleich gebrochen werden, der violette am stärksten, der blaue etwas weniger, der grüne, gelbe, orangefarbene immer weniger, der rothe am wenigsten. Aus dieser ungleichen Brechbarkeit lassen sich alle Umstände, die wir bei diesem farbigen Sonnenbilde bemerken, erklären, und alle fernern Experimente zeigen, daß wir genöthigt sind, sie anzunehmen. Schon Newton machte die Bemerkung, daß das Sonnenbild auch nach dem Durchgange durch das Prisma auf einer dem Strahle senkrecht dargebotenen Tafel fast genau rund, aber roth, erscheinen würde, wenn die Sonne uns nur rothe Strahlen zusendete, Strahlen nämlich von gleicher Brechbarkeit; daß eine gelbe Sonne ein andres rundes Bild geben würde, und zwar etwas weiter von der Richtung der grade fortgehenden Strahlen entfernt, weil die gelben Strahlen etwas mehr gebrochen werden; daß eine grüne Sonne, eine blaue Sonne, eine violette Sonne, wenn wir uns ihre Strahlen nach und nach auf gleiche Weise einfallend verschaffen könnten, ein verschieden gefärbtes rundes Bild, jedes folgende weiter von der Richtung des ungebrochenen Strahles entfernt, geben würden. Indem nun, schloß Newton weiter, diese verschiedenen Bilder zu gleicher Zeit aus den weißen Strahlen hervorgehen, und sich so wie Fig. 84. zeigt, neben einander darstellen, zugleich aber sich in ihren auf einander fallenden Rändern mischen, entsteht das längliche Farbenbild **AB**, das am Ende **r** roth, am andern Ende **v** violett ist, und die Farben **r** roth, **o** orange, **g** gelb, **gr** grün, **b** blau, **v** violett darstellt. Dieses kann entweder so wie Fig. 84. aus einer Reihe von Farben, Violett am einen, Roth am andern Ende, mit Mischungs-Uebergängen vom Violett zum Blau, vom Blau zum Grün, vom Grün zum Gelb, vom Gelb zum Orange, vom Orange zum Roth, entstehen, oder sich bloß an den Enden gefärbt, in der Mitte weiß, darstellen, weil die Mischung aus allen Farben, die offenbar in Fig. 85. in der Mitte eintritt, wieder eben die Einwirkung auf unser Gesicht hervorbringt, wie sie bei dem freien Sonnenstrahle, in wel-

chem auch alle jene Farbenstrahlen gemischt waren, statt fand *). Nach dieser Vorstellungs-Art ist also das Sonnenlicht eine Mischung aus den verschiedenen Farbenstrahlen, die ich, als sechs Hauptfarben darbietend, zuerst nur als so viel einzelne Strahlen betrachten will, obgleich diese Vorstellung noch etwas verbessert werden muß; jeder Farbenstrahl erleidet eine andre Brechung, giebt daher nach dem Durchgange durch das Prisma einen in etwas verschiedener Richtung fortgehenden Strahl und ein eignes Farbenbild. Newton fand noch keine Mittel, jene von ihm vorausgesetzten runden Farbenbilder wirklich vor Augen zu legen; aber die Mittel dazu haben sich nachher dargeboten. Die Sonnenstrahlen können uns diese runden Farbenbilder zeigen, wenn sie durch gefärbte Gläser oder durch gefärbte Flüssigkeiten gehen, indem zum Beispiel verdünnte Lackmußtinctur und einige rothe Glas-Arten fast allein den rothen Strahlen den Durchgang gestatten; — gewöhnlich werden noch einige andre Strahlen mit durchgelassen, da dieses aber bei der Lackmußtinctur fast nur blaue und violette sind, so ist diese Flüssigkeit dennoch geeignet, die runden Bilder zu zeigen. Läßt man nämlich den Sonnenstrahl, ehe er das Prisma erreicht, durch ein mit parallelen Wänden begrenztes, mit einer solchen Flüssigkeit gefülltes Glas gehen, so sieht man in dem prismatischen Bilde die übrigen Farben ganz verschwunden, und nur ein rundes rothes Bild, an der Stelle, wo auch vorher das Roth lag, bleibt sichtbar, entweder ganz allein, wenn gar keine andern Farbenstrahlen durchgelassen werden, oder neben einem abgesonderten blauen und violetten Bilde, das an der vorigen Stelle des Blau und Violett erscheint. Die Erscheinung zeigt sich am besten, wenn von den gelben und grünen Strahlen gar keine durchgelassen werden, indem dann das runde rothe Bild durch einen dunkeln Zwischenraum von dem schwachen blauen oder violetten Bilde getrennt ist; würden dagegen grüne Strahlen durchgelassen, so würde das letztere Bild sich in

*) Die in Fig. 85. mit r, o, g, gr, b, v, bezeichneten Kreise sollten eigentlich die dadurch angedeuteten Farben darstellen; aber nicht allein in w, wo alle einander bedecken, wird weiß entstehen, sondern auch bei b, wird ein etwas ins Gelbliche ziehendes Weiß, bei o^1, g^1, ein etwas bläuliches Weiß hervorgehen, und nur bei r, o, g, der rothe, orange, gelbe, bei b^1, v^1 der blaue und violette Rand schön farbig sein.

die Länge gezogen und grün am einen, violett am andern Ende zeigen.

Dieser Versuch ist einer der Beweise, daß wirklich jede Art von Farbenstrahlen ein eignes und vollständiges Bild darstellt, und daß ein jedes nach Verschiedenheit der Farbe auf einen andern Ort fällt, aus Strahlen nach andern Richtungen gebrochen entsteht. Aber auch andre Lichter außer dem Sonnenlichte beweisen eben das. Wenn wir unsre gewöhnliche Lichtflamme durch ein Prisma ansehn, und dabei am liebsten die parallelen Seitenlinien des Prisma's vertical, die Längen-Abmessung der Flamme parallel, halten; so erscheint uns erstlich, wie Sie wissen, die Flamme weit von ihrer wahren Stelle fortgerückt, weil die Strahlen stark gebrochen ins Auge kommen, aber zweitens erscheint uns auch die Flamme farbig, und zwar roth an der Seite, die dem wahren Orte derselben am nächsten ist, blau und violett an der entgegengesetzten Seite, jenes Roth und das in der Mitte entstehende Gelb ist vorzüglich lebhaft, weil diese Flammen viel rothes und gelbes Licht geben. Hier ist also die Erscheinung der Farbenränder und so ziemlich der ganzen Folge aller Farben sichtbar. Aber wenn man einen mit Kochsalz stark eingeriebenen Docht in eine Spirituslampe setzt, und nur eine ziemlich schmale Flamme zu erhalten sucht, oder noch lieber die Flamme nur durch eine schmale Oeffnung auf das vor das Auge gehaltene Prisma ihr Licht senden läßt, so sieht man nicht eine ganze Reihefolge aller Farben, nicht ein in die Breite gezogenes Bild der Flamme, das sich in Farbenränder endigt, sondern eine reine gelbe Flamme ohne allen rothen Rand, und diese Flamme in ihrer ganz natürlichen Form, begleitet jedoch von einer matten violetten Flamme, die, wenn man sich mit dem Prisma hinreichend entfernt hat, ganz getrennt von der gelben Flamme, so daß ein dunkler Zwischenraum zwischen beiden bleibt, erscheint. Bei dieser Flamme tritt der für unsern Zweck vortheilhafte Umstand ein, daß sie fast nur rein gelbes Licht, mit einer geringen Beimischung violetten Lichtes, aussendet. Bei der Brechung findet daher nur sofern eine Farbenzerstreuung, eine Darstellung verschiedenfarbiger Erscheinungen statt, als sich neben der gelben Hauptflamme noch eine ganz davon getrennte matte violette Flamme zeigt, und die Uebergangsfarben, das Grün und Blau, die sonst beide Flammen

verbinden, und eben dadurch ein undeutliches Bild, eine breitgezogene Flamme hervorbringen würden, gar nicht da sind. — Diese Versuche zeigen deutlich, daß da, wo nur eine Art von Farbenstrahlen vorhanden ist, der Gegenstand ganz rein, selbst durch das Prisma gesehen ohne unsicher begrenzte Ränder, erscheint, und daß diese verschiedenen Farben und Ränder also nur aus der ungleichen Brechung der gemischten verschiedenen Farbenstrahlen entstehen.

Newtons Versuche über diese ungleiche Brechung der Lichtstrahlen verdienen noch immer, ihrer passenden Anordnung wegen, angeführt zu werden, obgleich die Wahrheit seiner Behauptung, daß erstlich die verschiedenen Farbenstrahlen eine ungleiche Brechung haben, und daß zweitens da, wo sie vereint zur Erleuchtung beitragen, — in demselben Mischungsverhältnisse vereint, wie im Sonnenstrahle, — eine weiße Erleuchtung hervorgeht, und wo sie in diesem Verhältnisse gemischt das Auge erreichen, das Auge die Empfindung des Weiß erlangt, auf unzählige Weise nachgewiesen werden kann. Newton stellte zum Beweise, daß die verschiedenfarbigen Strahlen, auch wenn sie von gefärbten Körpern ausgehen, eine ungleiche Brechbarkeit haben, folgenden Versuch an. Auf schwarzem Grunde wurden zwei neben einander gezeichnete Quadrate (Fig. 86.) **AB**, **BD**, deren eines roth, das andre blau gefärbt war, gelegt; diese wurden durch das Prisma, dessen Seiten mit **AD** parallel gehalten wurden, betrachtet, und es zeigte sich nun das rothe Quadrat nicht mehr grade neben dem blauen, sondern wenn jenes dem Auge nach **ab** herab gerückt erschien, so war das blaue dagegen in der Lage **cd** zu sehen; die Brechung der rothen Strahlen war also geringer, hatte eine geringere Aenderung der scheinbaren Lage hervorgebracht, als die Brechung der blauen Strahlen. Dieser Versuch hat nur darin einige Schwierigkeit, daß unsre Färbestoffe nie ganz rein, nur eine Art farbigen Lichtes geben, sondern immer noch einige Beimischung andrer Farben enthalten, und daß überdieß die Oberfläche selten von einigem spiegelnden Glanze frei ist, der ein aus allen Farben gemischtes weißes Licht giebt. Indeß obgleich das Roth nicht leicht ohne einen gelben Rand an der Seite **AE**, die der stärkern Brechung entspricht, und noch weniger das Blau ohne einen grünen Rand an der der geringern Brechung entsprechenden Seite **BF** zu sein pflegt, so ist doch

in der That das Experiment überzeugend genug. Einige Arten von Blumen sind noch mehr dazu geeignet, indem die **Lychnis chalcedonica** ein fast reines Roth, und einige blaue Blumen ein wenigstens nicht mit allzu erheblichem grünem Rande versehenes Blau liefern. Man kann den Versuch auch so abändern, daß man (**Fig. 86.**) an den obern Rand des rothen Vier-Eckes ein blaues Blättchen **g**, einen kleinen Theil des Roth verdeckend, legt; betrachtet man nun das Vier-Eck **A B** durch das Prisma, so daß es nach **a b** herabgerückt erscheint, so sieht man bei g^{I} einen dunkeln Fleck ohne Farbe, das Blau aber zeigt sich bei **e** als einen violettern Schimmer auf dem Roth verbreitend. In der Gegend g^{I} erscheinen dem Auge gar keine Farbenstrahlen, von dort kömmt gar kein Licht zum Auge, indem dort keine rothe, einer geringen Brechung empfängliche Strahlen ausgehen, die blauen aber, stärker gebrochen, das Auge so treffen, als ob sie von **e** ausgingen.

Daß aus dem weißen Sonnenlichte ein farbiges Bild hervorging, hatte Newton durch einen ähnlichen Versuch, wie den oben beschriebenen, gezeigt; aber es konnte nun die Frage entstehen, ob denn nicht durch eine neue Brechung jeder Farbenstrahl sich abermals ebenso in neue Strahlen zerstreuen oder ausbreiten werde. Newton suchte daher zuerst die bei der ersten Brechung getrennten Strahlen so zu erhalten, daß sie möglichst ungemischt hervorgingen, und unterwarf sie dann einer neuen Brechung. Um das erstere zu bewirken, wurde der durch das Prisma **A** (**Fig. 87.**) gebrochene Strahl durch eine kleine Oeffnung **B** und abermals durch eine kleine Oeffnung **C** durchgelassen; dadurch konnte man, indem die Mitte des rothen Strahles durch **B** nach **C** fiel, alles Gelb, und so, bei ähnlicher Anwendung eines andern Farbenstrahles, fast alles fremde Licht entfernt halten, also auf das Prisma **D** möglichst reines, einfarbiges Licht fallen lassen. Ward nun dieses im Prisma **D** zum zweiten Male gebrochen, so zeigte sich, daß dieser farbige Strahl keine merkliche abermalige Ausbreitung, wie es bei erheblich verschiedener Brechung seiner einzelnen Theile hätte statt finden müssen, zeigte; aber daß die neue Ablenkung, die er durch das Prisma **D** erlitt, am geringsten war, wenn man einen rothen Strahl durch **B, C** hatte einfallen lassen, am stärksten, wenn der Strahl violett war, und daß also die stärkere Brechbarkeit auch

hier dem Violett zugehörte, während der blaue, grüne, gelbe, rothe Strahl sich in dieser Ordnung weniger brechbar zeigten.

Ein zweiter, leicht anzustellender Versuch, welcher zeigt, daß die Farbenstrahlen, welche bei der ersten Brechung am meisten von ihrer Richtung abgelenkt waren, auch bei einer zweiten Brechung wieder am meisten gebrochen werden, ist folgender. Sie haben schon vorhin gesehen, daß das farbige Sonnenbild, das prismatische Spectrum, eine längliche Form **A B** (Fig. 88.) annimmt, und zwar hat die Längen=Abmessung dieses Bildes eine verticale Lage an der verticalen Wand, wenn das Prisma **C D** horizontal steht; läßt man die Strahlen, die dieses Bild darstellen, auf ein verticales Prisma **E F** fallen, so erhält man ein schiefstehendes Farbenbild, in welchem das Violett bei **A**, welches schon bei der ersten Brechung am meisten von der ursprünglichen Richtung **L M** entfernt lag, nach **G**, mehr seitwärts gebrochen erscheint, als die übrigen Farben, unter welchen das Roth von **B** nach **H** fortgerückt, am wenigsten seinen Platz geändert hat.

Weiß aus der Mischung der Farben entstehend. Andre Mischungsfarben. Ergänzungsfarben.

Ein andrer Versuch Newtons hatte die Absicht zu zeigen, daß bei der Vereinigung aller aus dem weißen Lichtstrahle hervorgegangenen Farbenstrahlen sich wieder Weiß zeige. Um dies zu beweisen, diente die Sammlung der durch das Prisma getrennten Strahlen, die durch ein convexes Glas bewirkt wurde. Wenn man Lichtstrahlen, die von **A** ausgehend (Fig. 89.) divergiren, mit einem so aufgestellten Glase, daß die Entfernung von **A** bis **B C** der doppelten Brennweite gleich ist, auffängt, so bringt die Brechung dieselben in einer Entfernung, die dem Abstande des Glases vom Puncte **A** gleich ist, in **D** zusammen, und jenseits **D** gehen sie wieder aus einander; wenn man also für die vom Prisma **A** aus divergirenden Farbenstrahlen die Glaslinse auf diese Weise aufstellt, so werden alle Farbenstrahlen in dem Puncte **D** gesammelt, und hier zeigen sie eine weiße Erleuchtung; fängt man sie dagegen diesseits des Punctes **D**, zwischen **D** und **B C** auf, so erscheinen die Farben in ihrer gewöhnlichen Ordnung, (in der Figur, wo die Brechung nach oberwärts erfolgt ist, das Violett zu oberst;) dagegen

erscheinen die Farben in umgekehrter Folge, wenn man jenseits D die Strahlen auffängt, (in der Figur Violett zu unterst,) weil hier die Strahlen sich durchkreuzt haben. Das bloße Zusammentreffen in einem Puncte bringt also für unser Auge die Empfindung des Weiß hervor, aber die in verschiedenen Richtungen in D ankommenden Farbenstrahlen behalten ihre Eigenschaft, eine farbige Erleuchtung hervorzubringen, und zeigen diese abermals, sobald sie sich wieder, ihren graden Lauf fortsetzend, getrennt haben.

Auch die Mischung nicht aller, sondern nur einiger Farbenstrahlen bringt bemerkenswerthe Erscheinungen hervor. Wenn man eine ziemlich große Glaslinse mit einem Schirme bedeckt, in welchem sich zwei parallele schmale Oeffnungen befinden, und nun von dem in der doppelten Brennweite aufgestellten Prisma her die Farbenstrahlen so auffallen läßt, daß ihre Begrenzungen den offenen Streifen parallel sind, so ist es nicht schwer, bald diese bald jene zwei Farben auf die Oeffnung, also auf die Linse fallen zu lassen. Fängt man nun die durch die Linse gegangenen Strahlen auf einer weißen Tafel hinter der Linse auf, so sieht man zwei ungleichfarbig erhellte Streifen so lange die Tafel weniger als die doppelte Brennweite entfernt ist, und sieht diese wieder, aber in umgekehrter Ordnung, wenn sie mehr entfernt ist; in der doppelten Brennweite der Linse aber zeigen sich beide Streifen vereint und bieten nun die Mittelfarbe dar. Diese ist grün, wenn sich gelb und blau vereinigen, orange, wenn sich roth und gelb vereinigen; aber aus der Vereinigung von Grün und Orange geht ein blasses Gelb, aus Grün und Violett geht Blau hervor, indem die gemischten Strahlen diejenige Farbe, die zwischen ihnen liegt, hervorbringen, zugleich aber in der Mischung ein Weiß, eine Erleuchtung, die die Mittelfarbe um sehr vieles heller (ein lichteres Gelb zum Beispiel) macht, sich zeigt. Nach v. Grotthus Vorschrift kann man ein für unser Auge als ganz rein erscheinendes Weiß erhalten, wenn man durch zwei Prismen zwei Farbenbilder hervorbringt, die so auf einander fallen, daß das Roth des einen das Blaulichgrün des andern deckt; dieses Weiß ist aber durch das Prisma gesehen, nicht in alle Farben, sondern nur in die, aus denen es entstanden ist, zerlegbar.

Wenn man durch die Linse alle Strahlen, das Blau ausgenommen, vereinigt, so erhält man Gelb oder Orange, je nachdem das Blau aus einem näher am Violett oder näher am Grün liegenden Theile des Farbenbildes genommen ist, und es heißt daher Blau die Complementairfarbe, die Ergänzungsfarbe des Orange oder Gelb; ebenso ist Roth die Ergänzungsfarbe des Grün, Violett die Ergänzungsfarbe des Gelb, weil das Zusammenkommen aller Farben außer jener einen, die zugehörige Ergänzungsfarbe hervorbringt.

Genaue Bestimmung des Brechungsverhältnisses für verschiedene Farbenstrahlen.

Von diesen Versuchen, welche die vereinte Wirkung mehrerer Farbenstrahlen betrafen, kehre ich zu der ungleichen Größe der Brechung zurück, indem es nicht genug ist, diese Ungleichheit obenhin zu kennen, sondern auch die Mittel zu einer ganz genauen Bestimmung vollständiger zu übersehen.

Um diese Bestimmung zu erhalten, wandte Fraunhofer die schon vorhin beschriebene Einrichtung zu Abmessung der Brechung an, die ich kaum noch weiter zu erklären brauche, da die dem Vorigen beizufügende Erörterung sich leicht von selbst ergiebt. Wir sahen es früher (Fig. 61.) so an, als ob der nach der Richtung **AB** auf das Prisma fallende Strahl auch nach der Brechung im Prisma als ein einzelner Strahl, das heißt mit paralleler Richtung aller seiner Theile, hervorgehe; aber Sie wissen jetzt, daß dieses nicht der Fall ist, indem die violetten und rothen Strahlen und so auch alle zwischenliegenden merklich divergirend hervorgehen; es ist also bei einer genauen Bestimmung der Brechung nöthig, mit jedem Farbenstrahle besonders die Beobachtung zu wiederholen, und indem man das eine Mal den rothen, das andre Mal den gelben Strahl genau in der Richtung des Fernrohrs **ML** beobachtet, die entstandene Ablenkung von der ersten Richtung zu bestimmen. Dieses läßt sich sofern ohne Schwierigkeit bewirken, als man die kleine Oeffnung, durch welche das Lampenlicht auf das Prisma fällt, roth, gelb, u. s. w. sieht, wenn diese verschiedenen Farbenstrahlen durch das Fernrohr zum Auge kommen, und so ergeben sich Folgerungen, die für viele Zwecke schon genau genug sind. Aber

dem genauen Beobachter bietet sich dennoch hier ein Zweifel dar. Das prismatische Farbenbild zeigt in jeder Farbe eine gewisse Ausdehnung, und obgleich ich das Bild im Fernrohr grün sehe, es mögen Strahlen, die etwas näher nach dem Gelb hin oder die etwas näher nach dem Blau hin liegen, durch das Fernrohr zum Auge gelangen; so ist doch für eine sehr strenge Messung derjenige grüne Strahl, welcher dem Blau etwas näher liegt, schon stärker gebrochen, als der, welcher dem Gelb näher liegt, und es ist daher nicht so leicht, wenn man die Brechung für verschiedene Körper bestimmen will, sich zu überzeugen, daß man bei allen genau eben denselben grünen, genau eben denselben blauen Strahl, nämlich den, der im Farbenbilde dieselbe Stelle einnimmt, angewandt habe. Diese Schwierigkeit wird gehoben durch die von Fraunhofer gemachte Entdeckung, daß es dunkle Linien im prismatischen Sonnenbilde giebt, die immer ihre bestimmte Stelle behalten *). Um diese Entdeckung sogleich in der Verbindung zu zeigen, wie sie mir am verständlichsten scheint, will ich Sie noch einmal auf die durch das Prisma gesehene gewöhnliche Lichtflamme und auf die durch Weingeist und einen mit Salz eingeriebenen Docht hervorgebrachte Flamme aufmerksam machen. Jene zeigt in der Mitte eine vorzüglich glänzende Stelle da, wo das Gelb des prismatischen Bildes liegt, und diese zeigt eine auffallende Lücke zwischen dem Gelb und Violett. Wir finden den Grund hiefür darin, daß unsre gewöhnliche Lichtflamme einen großen Antheil gelben Lichtes enthält, desjenigen gelben Lichtes, dessen Brechbarkeit fast genau gleich groß ist, und das daher in einem sehr engen Raume des prismatischen Bildes beisammen bleibt; dagegen zeigen uns die Lücken im prismatischen Bilde der zweiten Flamme, daß es ihr an rothen Strahlen, an grünen Strahlen, an blauen Strahlen, ganz fehlt, die daher auch im Farbenbilde nicht sich darstellen können. So auffallende Lücken in der Reihenfolge der ungleich brechbaren Strahlen giebt es im Sonnenlichte nicht, sondern es ist beinahe richtig, wenn wir behaupten, daß sich im Sonnenlichte Strahlen von allen den verschiedenen Graden der

---

*) Wollaston hat diese schon früher gesehen, aber Fraunhofer entdeckte sie, ohne dies zu wissen, und gab der Entdeckung erst ihren rechten Werth durch die Anwendung.

Brechbarkeit finden, die zwischen der Brechbarkeit des äußersten Roth und des äußersten Violett enthalten sind; aber obgleich dies sehr wenig von der Wahrheit abweicht, so zeigen doch die dunkeln Linien, die man mit Hülfe des Fernrohres wahrnimmt, daß sehr kleine Lücken auch hier, den großen Lücken in jenem vorigen Beispiele ähnlich, vorhanden sind. Wir waren vorhin geneigt von sechs verschiedenen Farbenstrahlen zu reden, oder von sieben, wenn wir Newton folgen wollen, der im Blau zwei Farben unterscheidet; aber wir erkennen jetzt, daß wir viel mehrere ungleich brechbare Strahlen annehmen müssen, wenn gleich unser Auge eine ganze Reihe benachbarter Strahlen grün, eine andre Reihe benachbarter Strahlen gelb nennt, u. s. w. Ein dünner auf das Prisma fallender Strahl breitet sich fächerförmig aus, wenn er aus dem Prisma hervorgeht, und wenn wir den kleinen Winkel, den der äußerste rothe Strahl mit dem äußersten violetten macht, in tausend Theile zerlegen, so ist jede dieser tausend Abtheilungen als mit Strahlen von ungleicher Brechbarkeit erfüllt anzusehen; indeß lehren Fraunhofers Versuche, daß unter diesen tausend Strahlen, die nach dem Gesetze der Stetigkeit immer einer etwas mehr als der andre gebrochen werden, doch hie und da einer fehlt. So, glaube ich, muß man diese wichtige Entdeckung verstehen, und folglich müssen wir, wenn gleich im Allgemeinen der Glanz des Farbenbildes von den Seiten gegen die Mitte zunimmt, zugestehen, daß dieser Fortgang nicht strenge nach dem Gesetze der Stetigkeit erfolgt.

Diese Linien nun bieten, da sie an genau bestimmten Stellen des prismatischen Sonnenbildes liegen, ein völlig strenges Mittel zur Vergleichung der Brechung in verschiedenen Körpern dar. Richtet man nämlich das Fernrohr so, daß genau die dunkle Linie, die ungefähr an der Grenze des Orange und Gelb (wo diese durch unmerklichen Uebergang verbunden sind,) sich befindet, in der Mitte des Fernrohres erscheint, so hat man durch die Stellung des Instruments (Fig. 61.) und durch gehörige Berechnung, die Brechung eines ganz bestimmten Farbenstrahles, den man bei Anwendung eines andern brechenden Körpers genau wiederfinden kann. Jetzt erst läßt sich also von dem Brechungsverhältnisse für verschiedene Körper mit Bestimmtheit sprechen, und wenn wir uns früher be-

gnügten, oberflächlich zu sagen, die Sinus des Einfallswinkels und des Brechungswinkels (das ist, des Winkels, der zwischen dem einfallenden Strahle und dem Einfallslothe liegt, und des Winkels, der zwischen dem gebrochenen Strahle und dem Einfallslothe liegt,) hätten für den Uebergang aus dem luftleeren Raume in Wasser das Verhältniß 1 zu $\frac{3}{4}$, (oder 1 : 0,75) oder bei dem Uebergange aus Wasser in den luftleeren Raum das Verhältniß 1 zu $\frac{4}{3}$, (oder 1 zu 1,3333,) so können wir jetzt bestimmter sagen, daß das letztere Verhältniß durch 1 zu 1,3309 für eine dunkle Linie, die dem rothen Ende des Bildes nahe ist, durch 1 zu 1,3336 für die dunkle Linie zwischen Orange und Gelb, durch 1 zu 1,3358 für eine bestimmte Stelle des Grün, durch 1 zu 1,3413 für eine Stelle im tiefen Blau dem Violett nahe, durch 1 zu 1,3442 für eine bestimmte Stelle gegen die Grenze des Farbenbildes im Violett, dargestellt wird. — Warum die genaue Kenntniß dieser Brechungsverhältnisse, namentlich in Beziehung auf die verschiedenen Glas-Arten, so wichtig ist, werde ich in der Folge zu erwähnen Gelegenheit haben.

Verlassen kann ich aber diesen Gegenstand nicht, ohne noch die Methode zu erwähnen, deren Fraunhofer sich bediente, die ungleiche Intensität des Lichtes der verschiedenen Farben im prismatischen Farbenbilde der Sonne zu bestimmen. Indem man durch das Fernrohr die im Prisma zerstreuten Strahlen auffängt, sieht man diese, je nachdem man die eine oder andre Farbe in das Gesichtsfeld bringt, mit ungleichem Glanze, un um diesen Glanz abzumessen, ward im Fernrohre ein das halbe Fernrohr einnehmender, schief gestellter Spiegel angebracht, von dem das Licht einer seitwärts stehenden Lampe dem durch das Fernrohr sehenden Auge zugeworfen wurde. Das Auge sah also zugleich den von der Lampe erhellten Spiegel und daneben den zu vergleichenden Theil des Farbenbildes, und indem man durch vergrößerte oder verkleinerte Entfernung der Lampe den Spiegel so erhellte, daß der Eindruck des Glanzes dem des Farbenbildes gleich erschien, so hatte man vermittelst der Entfernung der Lampe eine Abmessung jener Helligkeit. Sie übersehen leicht, daß der Spiegel da stehen muß, wo des Oculares Brennpunct ist, damit er deutlich gesehen werde, und daß neben ihm eine Oeffnung an der Seite des Fernrohrs (mit einer

Seitenröhre versehen, um die Lampe aufzunehmen,) angebracht sein muß, damit ihn das Licht gehörig treffe. Durch diese Versuche wurde bestimmt, daß im Gelb die meiste Lichtstärke statt findet, die vom Grün bis zum Violett sich sehr allmählig abnehmend verliert, statt daß sie durch Orange und Roth bis zur Grenze des Roth weit schneller abnimmt.

Gesetze für die an weißen Gegenständen im Prisma erscheinenden Farbenränder.

Die meisten der bisherigen Betrachtungen betrafen nur einen beschränkten auf das Prisma fallenden Lichtstrahl, und die Beobachtung der Farben-Erscheinungen, die entweder das Sonnenbild an der Wand oder das gleichfalls beschränkte Bild einer Flamme, wenn man es durch das Prisma betrachtet, darbietet; aber auch die Erscheinung ausgedehnterer Flächen durch das Prisma verdient um so mehr eine nähere Betrachtung, da man bei der Erklärung derselben oft einige Schwierigkeit gefunden hat. Wenn man eine größere weiße Fläche, am besten auf schwarzem Grunde liegend, deren obere und untere Seite mit den Kanten des horizontal gehaltenen Prisma's parallel sind, durch das Prisma ansieht, und den brechenden Winkel des Prismas nach unten wendet, so erscheint die ganze weiße Fläche, vermöge der Brechung, hinabwärts gerückt, aber an der untern Seite von einem blauen und violetten Rande, oben dagegen von einem gelben und rothen Rande umgeben.

Um den Grund, warum die Farbenränder grade so erscheinen, zu übersehen, sei (**Fig. 90.**) **A B** die weiße Tafel, oberhalb **A** und unterhalb **B** sei die Fläche schwarz, am besten so, daß sie gar kein Licht aussendet. Ein durch das Prisma **C** sehendes Auge **E** würde die ganze Tafel nach **r R** gerückt sehen, wenn sie nur rothe Strahlen aussendete, nach **v V** gerückt, wenn sie nur violette Strahlen aussendete, (um diese beiden Erscheinungen zu unterscheiden, ist die eine etwas hinter der andern angegeben,) und es erhellt nun sogleich, daß die weiße Tafel breiter als eine einfarbige Tafel, und bei **r** roth, bei **V** violett erscheinen wird. Die Figur giebt ungefähr an, daß das rothe Bild des Punctes **A** in **r**, das rothe Bild des Punctes a^{I}, des Punctes a^{II}, in r^{I}, r^{II}, erscheinen wird, und daß also der violette Strahl von **A** und der rothe von a^{II} in einerlei

Richtung zum Auge kommen. In eben der Richtung kömmt offenbar ein grüner von a^I ausgehender Strahl zum Auge, und dieses sieht daher in der Gegend $r^{II}\,v$ reines Weiß wegen der hier statt findenden Vereinigung aller Farbenstrahlen. Aber auch bei r^I wird kein reines Roth, sondern Gelb erscheinen; denn es liegt in eben der Richtung der von A aus zum Auge kommende grüne Strahl, ferner ein gelber Strahl, der etwa mitten zwischen A und a^I ausgegangen ist, u. s. w., also erhält das Auge in der Richtung von r^I her eine Mischung rother, gelber und grüner Strahlen, die, wie Sie schon wissen, reines Gelb geben. Eben so schließt sich an den violetten Rand V ein dunkelblauer aus Blau und Violett, ein heller blauer aus Grün, Blau und Violett an, und zwischen dem roth und gelben, und dem blau und violetten Rande ist die weiße Fläche weiß, weil in der Richtung von dorther alle Arten Farbenstrahlen zum Auge gelangen.

Ein sehr schmaler Streif, $A\,a^I$ würde gar kein Weiß in der Mitte geben, weil der äußerste rothe Strahl $r^I E$ aus einer Gegend kömmt, wo sich noch gar kein Blau und Violett mit dem Roth mischt; das gelbe Bild würde sich hier, etwas mit dem rothen gemischt an das rothe, das grüne Bild an das gelbe, das blaue an das grüne anschließen, und so der schmale weiße Faden eine breitere, alle Farben darstellende Fläche darbieten.

So wie wir vorhin die weiße Fläche oben mit rothem und gelbem Rande, unten mit violettem und blauem Rande umgeben sahen, so wird, wenn noch immer die Brechung als herunterwärts gehend, den Gegenstand in einer tiefern Lage zeigend, angenommen wird, eine schwarze Fläche den violetten und blauen Rand oben, den rothen und gelben Rand unten zeigen. Die schwarze Fläche liege auf einem weißen oder auf einem grauen Grunde, so ist diese angrenzende Fläche nun offenbar diejenige, die wir lichtaussendend nennen müssen, statt daß die schwarze als kein Licht gebend angesehen wird, oder doch höchstens nur sehr wenig Licht von sich giebt.

Bedienen wir uns der vorigen Figur, so kömmt nun von r R gar kein rothes Licht, von v V gar kein violettes Licht, und weil die ersten gelben, grünen, blauen Strahlen, die nämlich oberhalb A ausgehen, gewiß zwischen r und v liegen müssen, so sieht das Auge E zwischen v und R gar kein Licht; hier erscheint die schwarze

Fläche schwarz. Zwischen v und r erscheinen bei v violette, bei r^1 schon violette, blaue und grüne Strahlen, bei r alle Farbenstrahlen, also wenn bei A die schwarze Fläche an eine weiße grenzt, volles Weiß, und dieses Weiß geht durch Blau und Violett in das Schwarz über. An der andern Seite fehlen die rothen Strahlen nur bis R, und zwischen R und V gehen zunächst an R rothe, dann rothe, orangefarbne, gelbe, dann in einem noch etwas mehr von R entfernten Puncte alle Farben vom Roth bis zum Grün, die in der Mischung Gelb geben, endlich bei V alle Farben hervor, und es ist daher an der untern Seite vom Schwarz an ein Uebergang durch Roth und Gelb zum Weiß.

Wenn der schwarze Streif zu schmal ist, so daß die Grenze R der fehlenden rothen Strahlen nicht über die entgegengesetzte Grenze v der fehlenden violetten Strahlen hinüber reicht, so entsteht eine Mischung der rothen und blauen Strahlen, und die schmale schwarze Fläche ecscheint gar nicht mehr schwarz, sondern durchaus farbig und zwar so, daß vom Weiß ein Uebergang durch Gelb in ein pfirsichfarbenes Roth und von diesem durch Blau wieder ein Uebergang in Weiß gesehen wird. Ich habe, um dies deutlich zu machen, wohl nicht nöthig, den Weg der einzelnen durch das Prisma gehenden Farbenstrahlen zu zeichnen, sondern es wird genug sein, so wie Fig. 91. es zeigt, die Lücke in den rothen Strahlen rR, in den grünen gG, in den violetten vV bemerklich zu machen; bei r sieht das in E stehende Auge noch alle Farben, also Weiß; bei g alle Farben vom Grün bis Violett, also Blau, (indem die Mischung Grün, Blau, Violett, die Mittelfarbe giebt); bei R oder v eine Mischung von Roth und Violett, die sich pfirsichfarben, hellroth, darstellt; bei G fehlt das Violett und Blau, daher Roth, Gelb, Grün, sich als Gelb darstellen; bei V endlich erscheint Weiß, weil alle Farben wieder zusammen kommen.

Begrenzung der durch Brechung im Prisma gesehenen Gegenstände.

Das Prisma, dieses in der Farbenlehre fast unerschöpflichen Reichthum von Erscheinungen darbietende Werkzeug, giebt uns Gelegenheit noch zu mehreren Betrachtungen. Wenn Sie durch

das Prisma sehen, so bemerken Sie eine Begrenzung der mit farbigen Rändern versehenen Gegenstände, und an diese schließen sich gespiegelte, nicht farbig erscheinende Gegenstände an. Ist der brechende Winkel nach unten gekehrt, etwa so, daß die dem Auge zunächst liegende Seitenfläche ziemlich vertical ist, so bemerkt man bald, daß die gespiegelten Gegenstände diejenigen sind, die sich über der zu oberst liegenden Seite des Prisma's befinden, und daß die Begrenzung der farbig erscheinenden Gegenstände da liegt, wo die Verlängerung **B D** (**Fig. 92.**) der Seite **A B** hin trifft. Aber hiebei bemerkt man etwas Auffallendes, das sich am deutlichsten zeigt, wenn man das Prisma so hält, daß jene Grenze der farbigen, der durch Brechung gesehenen, Gegenstände theils auf den mit weißen Wolken bedeckten hellen Himmel, theils auf eine graue oder dunkle Wand fällt, und wenn man oberhalb des Prisma's einen weißen Bogen Papier **C E** hält, um diesen gespiegelt, sich an jene Grenze der durch Brechung gesehenen Gegenstände anschließend, zu sehen. Alsdann endigt sich oben das Helle des Himmels in einen gelben und rothen Rand, da wo diese Helligkeit glänzender als die Weiße des Papieres ist; aber an das gegen die dunkle Wand abstechend weiße Papier, wo dieses heller als die Wand ist, schließt sich ein blau und violetter Rand, jenen gelben und rothen fortsetzend, an. Von den letzten noch sichtbaren Puncten **F f** des weißen Himmels nämlich kommen die gebrochenen Strahlen **r H**, roth, **v H** violett in das Auge **H**; die violetten mischen sich mit den rothen, gelben, grünen eines tiefer liegenden Punctes und zeigen diesen noch weiß, statt daß die rothen Strahlen ungemischt als Rand übrig bleiben, an welchen rothen Rand sich aus den früher angegebenen Gründen noch ein gelber als Uebergang zum Weiß, anschließt. Umgekehrt ist es da, wo eine dunkle Wand in der Gegend **F f** sich befindet, die wir, da sie weniger Licht aussendet, hier als völlig lichtlos betrachten dürfen. Der erste Lichtstrahl, der uns durch vollkommene Spiegelung sichtbar wird, ist **e h**, der nach **G** unter einem Winkel **h G B**, der $=$ **r G A** ist, gelangt; aber von diesem kann der rothe Antheil als weniger gebrochen und als bei **G** eine geringere Brechung leidend, bei **G** noch nach der Richtung **G a** hervordringen, während der blaue und violette Antheil schon gegen das Auge **H** zu reflectirt wird; darum erscheint der Rand des weißen Papiers, oder

vielmehr der Rand des in voller Spiegelung deutlich und lebhaft gesehenen Theiles des weißen Papiers violett und blau.

Etwas genau Entsprechendes zeigt der Sonnenstrahl im finstern Zimmer. Dreht man das Prisma so, daß der Sonnenstrahl **eh** nach der Richtung **Ga** aus dem Prisma hervorgehend nur noch kaum aus dem Glase hervordringen kann, so sieht man in dem Farbenbilde **a** das Violett und Blau zuerst verschwinden, während die folgenden Farben sich noch bei **a** zeigen; dagegen aber nimmt das gespiegelte Bild, das man bei **O** wahrnimmt, statt des reinen Weiß eine blauliche Farbe an, zum Zeichen, daß die bei **a** fehlenden blauen und violetten Farbenstrahlen sich jetzt mit dem Spiegelbilde **O** verbunden haben. Dreht man das Prisma noch etwas weiter, so daß bei **a** alle Farben verschwinden, kein einziger Farbenstrahl mehr bei **G** hervordringt, so ist das Spiegelbild **O** lebhafter und weiß geworden; vorhin nämlich bestand es zuerst nur aus den wenigen allemal an der Hinterfläche reflectirten Strahlen, dann kamen die violetten und blauen schon vollkommen reflectirten Strahlen hinzu, endlich zeigt sich das Sonnenbild durch alle reflectirte Strahlen glänzender, indem die vollkommene Spiegelung eintritt.

So ließen sich noch viele einzelne Erscheinungen des Prisma's genauer verfolgen, aber es ist Zeit diesen Gegenstand, so weit nämlich vom genauen Wege der Lichtstrahlen durch das Prisma die Rede ist, zu verlassen. — Daß die farbigen Bilder, die zugleich vervielfältigten Bilder, die wir durch geschliffene Steine, durch geschliffene Crystallgläser, durch regelmäßig viel-eckige Gläser sehen, ganz hieher gehören, versteht sich von selbst.

Camera lucida.

Eine Anwendung der von der Rückseite des Prisma's bewirkten vollkommenen Reflexion giebt **Wollaston's** Camera lucida. Ein vierseitiges Prisma **ABCD** (**Fig. 93.**), dessen Winkel bei **A** $= 90^{\text{r}}$, bei **B** und **D** $= 68°$, bei **C** $= 134°$ sind, empfängt die auf **AB** ungefähr senkrecht auffallenden Strahlen **SE**, die ungebrochen nach **F** gelangen; ist nun der Winkel **EFB** ungefähr 22 Grad, so kann bei **F** der Lichtstrahl nicht hervordringen, sondern wird vollständig nach **G**, und dort, wo er unter eben dem Winkel auffällt, nach **H** reflectirt, indem er die letzte Oberfläche **AD** wieder-

senkrecht trifft. Wenn nun ein Auge bei H zugleich diesen Strahl empfängt und zugleich bei D vorbei sehend auf die Tafel I blickt, so erscheint ihm der in S liegende Gegenstand auf der Tafel I, und der Zeichner kann den Gegenstand daher dort darstellen, seine Umrisse zeichnen. Auf ähnliche Weise kann man das Prisma in Fernröhren da gebrauchen, wo man eines Spiegels zur Reflexion bedarf.

Ungleiche Brechung der Farbenstrahlen bei Linsengläsern.

Die ungleiche Brechung, welche bei den verschiedenfarbigen Strahlen statt findet, hat offenbar auch Einfluß auf die Wirkung der Linsengläser. Wir richteten vorhin bei der Angabe der Brennweite unsre Betrachtung nur auf eine fest bestimmte Brechung der Strahlen, und erhielten so, wenigstens für Strahlen, die nicht allzuweit von der Mitte des Glases einfielen, einen einzigen bestimmten Brennpunct; aber wenn nun die rothen Strahlen wenig, die violetten Strahlen viel gebrochen werden, so kann offenbar von einem vollständigen Zusammenkommen des Lichtes in einem Puncte nicht mehr die Rede sein, indem der Brennpunct für rothe Strahlen gewiß weiter vom Glase ab liegt, als der Brennpunct für blaue Strahlen, ebenso wie er bei der geringeren Brechung des Wassers entfernter liegt, als bei der stärkeren Brechung des Glases. Diese Verschiedenheit des Erfolges für ungleichfarbige Strahlen läßt sich auch an unsern gewöhnlichen Linsen wahrnehmen, wenn wir das Sonnenlicht durch sie sammeln. Wenn die Sonnenstrahlen **A B, C D** (**Fig. 94.**) auf das Glas fallen, so werden die im Sonnenlichte enthaltenen violetten Strahlen in **U**, die rothen, als weniger gebrochen, als weniger von ihrer parallelen Richtung abgelenkt, erst in **V** in einen Punct vereinigt, und der ganze Raum zwischen **U, V**, ist als eine Reihe von Brennpuncten zu betrachten. Fängt man das Licht in der Gegend **p q** auf einer weißen Tafel auf, so erhellt leicht, daß in der Mitte des Strahlenkegels alle Arten farbiger Strahlen vereiniget sind, also in der Mitte der von den gesammelten Strahlen erhellte Raum weiß erscheint; aber in der Nähe von **p** und **q** sind nur rothe Strahlen, weil alle gelben schon vor **V** zusammen kommen, und der erhellte Raum erscheint daher, weil das, was ich eben bemerkt habe, gegen alle Ränder hin statt

findet, mit einem rothen Rande umgeben, der gegen die Mitte hin in Gelb, dann in glänzendes Weiß übergeht. Stellt man dagegen in rs eine weiße Tafel auf, so sind hier die violetten Strahlen schon weit aus einander gegangen, und während der erhellte Kreis, der sich uns zeigt, in der Mitte weiß ist, sehen wir ihn mit einem blauen und violetten Rande umgeben. Jede Beobachtung des nicht ganz gesammelten Sonnenbildes bestätigt die Richtigkeit dieser Ueberlegung; denn es erscheint mit dem rothen Rande umgeben, wenn man es zu nahe an dem Linsenglase auffängt, und mit blauem Rande umgeben, bei zu großer Entfernung.

Wenn ein Microscop sehr genau die rothen Gegenstände zeigt, so ist es für die blauen nicht ganz strenge richtig gestellt, und weiße Gegenstände geben kein ganz reines Bild, weil man offenbar nicht zugleich die rothen und blauen Strahlen, die im Weiß enthalten sind, parallel hervorgehend erhalten kann, wenn sie von einerlei Puncte ausgehen, aber dann auch das Bild im Auge nicht rein entstehen kann. Sehen wir nämlich jetzt von der Frage, ob das Auge selbst eine Verschiedenheit der Brechung zuläßt, ab, (die wir nachher vornehmen wollen,) so ist gewiß, daß die von A (Fig. 95.) ausgehenden rothen Strahlen divergirend, wie FG, DE aus dem Linsenglase hervorgehen werden, wenn die violetten FI, DH, parallel sind; vereinigt also das Auge die violetten auf dem Netzhäutchen, so werden die rothen dort noch nicht vereinigt, sondern erleuchten noch einen kleinen Kreis auf der Netzhaut, so daß sie das ganze Bild undeutlich machen. Das Auge selbst, wenn wir es bloß als einfache Linse betrachten, muß diesen Fehler eher vergrößern als verkleinern, da auch im Auge die rothen Strahlen am wenigsten gebrochen werden müssen, und also um so mehr erst ihren Vereinigungspunct hinter der Netzhaut finden würden. Um aber die Frage, ob denn nicht auch das Auge für sich allein uns diese Undeutlichkeit zeigen müßte, zu beantworten, bemerke ich Folgendes. Wenn die Oeffnung einer Linse, der freie Raum 1 m, welcher Licht auffängt (Fig. 96.), so klein ist, wie bei dem Auge, so ist der Nachtheil, der aus der Farbenzerstreuung und der ungleichen Brechbarkeit hervorgeht, viel weniger erheblich. Mag nämlich auch der Strahlenkegel der rothen Strahlen seine genaue Spitze ein wenig hinter der Netzhaut ab haben, so wird doch der Kreis, den ab in

dem sehr schmalen Kegel ghp abschneidet, nur klein sein, und die geringe Unvollkommenheit des Bildes im Auge, die daraus entsteht, scheint keine erheblichen Nachtheile zu bringen, obgleich es wahrscheinlich ist, daß wir noch schärfer zu sehen im Stande wären, wenn diese geringe Undeutlichkeit des Bildes nicht da wäre *).

Um diesem Nachtheile bei Vergrößerungsgläsern vorzubeugen, hat man eine einfarbige Beleuchtung vorgeschlagen. Sie sehen nämlich leicht ein und die weitere Folge späterer Betrachtungen wird es noch mehr bestätigen, daß bei völlig einfarbiger Beleuchtung die Gegenstände auch nur die dieser Farbe entsprechenden Strahlen aussenden können, wodurch dann die Zerstreuung der Farben ganz wegfällt. Ein andres Mittel zur Abhülfe wäre bei einfachen Linsen, einen durchsichtigen Körper aufzusuchen, der keine allzu ungleiche Brechung der verschiedenen Strahlen gäbe, und in dieser Hinsicht haben die Microscoplinsen von Saphir, die man jetzt anwendet, einen Vorzug, indem der Saphir das Licht etwas stärker bricht als Glas und daher bei gleichen Oberflächen eine kürzere Brennweite giebt, aber das Licht weniger zerstreut als Glas und daher weniger Undeutlichkeit wegen der Farben giebt. Diese Saphirlinsen, so wie Pritchards Diamantlinsen, welche eine sehr kurze Brennweite bei mäßiger Krümmung der Oberflächen haben, scheinen unter den einfachen Linsen in dieser Hinsicht am brauchbarsten zu sein.

Achromatische Prismen. Achromatische Linsengläser.

Aber eine weit entschiednere Abhülfe der Farbenzerstreuung gewähren die zusammengesetzten Objectivgläser, die man bei Vergrößerungsgläsern so gut wie bei Fernröhren anwendet. Ehe ich von diesen rede, muß ich auf einige Augenblicke zu Newton und

---

*) Obgleich es gewiß ist, daß das Auge nicht ganz achromatisch ist, so scheint mir doch die Frage, ob nicht auch in dem innern Bau des Auges noch ein Mittel zu Verminderung dieser Farbenzerstreuung angebracht ist, noch nicht ganz entschieden. So viel ist gewiß, daß der Nachtheil der Farbenzerstreuung im Auge sehr geringe ist; mich dünkt geringer, als man nach der oben angegebenen Betrachtung zu erwarten berechtigt wäre. Ob hier nun die Mischung der in die Retina eindringenden Strahlen oder was sonst den Nachtheil vermindert, kann ich nicht entscheiden.

zu den Schlüssen, die er an seine Entdeckungen knüpfte, zurückgehen. Newton machte die richtige Bemerkung, daß in dieser Farbenzerstreuung ein Hauptgrund der Unvollkommenheit der dioptrischen Fernröhre liege, und da er glaubte, daß die Farbenzerstreuung in gleichem Maaße mit der Brechung bei allen Körpern gleichmäßig wachse, so gab er den Gedanken an Verbesserung der dioptrischen Fernröhre gänzlich auf. Dieses war der Grund, warum er die Anwendung der Spiegeltelescope anempfahl, weil diese der Farbenzerstreuung von Seiten des Spiegels gar nicht unterworfen sind, und die Undeutlichkeit, die aus der ungleichen Brechung der Farben im Oculare hervorgeht, wenigstens bei weitem nicht so bedeutend ist. Die Spiegel nämlich werfen alle Arten von Strahlen ungetrennt zurück, geben von weißen Strahlen ein weißes Bild, das, bei gehörig ausgeführter Form des Spiegels, alle von einem Puncte ausgehende Strahlen auch genau in einem Puncte vereinigt zeigen muß. Newtons großes Ansehen ist wohl Ursache gewesen, daß man die Verbesserung der Refractoren wirklich lange Zeit ganz vernachlässigte; aber er hatte sich in der Meinung, daß die Farbenzerstreuung auf eine bestimmte Weise an die Brechung gebunden sei, geirrt, und als Dollond, durch Eulers Untersuchungen veranlaßt, diesen Gegenstand genauer untersuchte, zeigte es sich, daß man durch zwei verbundene Prismen aus verschiedenen Glas-Arten eine Brechung ohne alle Farbenzerstreuung erhalten könne.

Wenn man zwei gleiche Prismen (Fig. 97.) so verbindet, daß ihre Seiten **HE**, **IB** und also auch **HG**, **CI**, parallel werden, so erhellt leicht, daß alle Farbenzerstreuung, aber auch alle Brechung aufgehoben wird; ein einfallender Strahl **AB** wird zwar in **B** gebrochen, in **C** wieder gebrochen, aber da **HG**, **IK** parallel sind, so ist im zweiten Prisma **DE** mit **BC**, dann aber auch **AB** mit **EF** parallel. Fallen also bei **B** rothe, gelbe, blaue Strahlen, im weißen Strahle vereinigt, in einerlei Richtung ein, so gehen sie auch in **EF** wieder parallel fort, und bringen den Eindruck des Weiß im Auge hervor. Anders würde es sein, wenn zwar die mittleren Strahlen, wofür wir die ungefähr an der Grenze des Grün und Gelb im Farbenbilde liegenden annehmen, gleich gebrochen würden, aber die Farbenzerstreuung im zweiten Prisma größer

wäre, als im ersten. In diesem Falle würde es für jene mittleren Strahlen noch immer gelten, daß **EF** mit **AB** parallel wäre; aber da das Roth im zweiten Prisma weniger, das Violett im zweiten Prisma mehr, als im ersten gebrochen wird, (denn das eben ist es, was wir stärkere Farbenzerstreuung nennen,) so wird bei den äußersten Farbenstrahlen jene Zurückführung zu der parallelen Richtung nicht eintreten, sondern der rothe Strahl **Ef**, der violette **Ef'**, werden divergirend hervortreten, ein Auge bei **F** wird den Gegenstand **A** farbig sehen, obgleich bei den mittleren Strahlen alle Brechung aufgehoben ist. Eben diese Verbindung von zwei ungleichartigen Prismen kann aber nun auch umgekehrt dienen, die sämmtlichen Farbenstrahlen in einen weißen Strahl zu vereinigen, während doch alle eine Brechung erlitten haben, also nicht wieder mit dem einfallenden Strahle parallel geworden sind. Um die Erreichung dieses Zweckes am schnellsten zu übersehen, scheint es mir am besten, zwei etwas ungleiche Prismen (Fig. 98.) anzunehmen, und zwar das schmalere aus dem Körper, welcher am stärksten die Farben zerstreut; den mittleren Strahlen lege ich noch immer gleiche Brechung in beiden Prismen bei. Tritt nun ein weißer Lichtstrahl bei **B** senkrecht ein, so gehen alle seine Farbenstrahlen ungebrochen bis **C** durch, werden aber hier ungleich gebrochen, und erreichen in etwas verschiedenen Richtungen das zweite Prisma. Da die beiden Seiten **LM**, **NO** parallel sind und die mittleren Strahlen im zweiten Prisma ebenso stark als im ersten gebrochen werden, so ist für sie **DE** mit **BC** parallel, aber dieser Strahl ist nicht senkrecht auf **KM**, er wird also nach **EF** gebrochen fortgehen. Der rothe Strahl leidet bei **D** eine etwas geringere Brechung als bei **C**, er weicht daher von der Richtung **AC** unterwärts ab, und aus demselben Grunde weicht der violette Strahl oberwärts, nach einem höhern Puncte zu gehend, ab; indem sie so die Seite **KM** erreichen, macht der mittlere Strahl einen etwas spitzen Winkel mit **EK** und wird daher in **E** etwas unterwärts gebrochen; der rothe Strahl, dessen Richtung etwas mehr unterwärts ging, der aber jetzt weniger gebrochen wird, kann also bei richtiger Wahl des Prisma's mit dem mittleren Strahle parallel werden oder wenigstens wird die Ablenkung vom mittleren Strahle unterwärts, die er schon hatte, vermindert; und ebenso wird die

kleine Ablenkung oberwärts, die der violette Strahl hatte, durch seine stärkere Brechung zum Theil oder ganz aufgehoben. Diese Ueberlegung zeigt wohl deutlich, daß es möglich ist, einen einfallenden weißen Strahl so gebrochen zu erhalten, daß er von seiner Richtung abweicht, also wirklich gebrochen ist, doch aber alle Farbenstrahlen in paralleler Richtung enthält, das ist als weißer Strahl erscheint. Zwei so zusammen geordnete Prismen bilden ein achromatisches, farbenfreies Prisma, welches aber nur da entstehen kann, wo zwei durchsichtige Körper von ungleicher Farbenzerstreuung verbunden werden. Als solche Körper, die eine sehr starke Farbenzerstreuung geben, hat man schon früh diejenigen Glas-Arten, die viel Blei enthalten, namentlich das englische Flintglas, kennen gelernt. Wenn man, nach der oben angeführten Fraunhoferschen Bestimmung sich einen genau im Sonnenbilde bestimmten rothen, grünen und violetten Strahl bemerkt, deren erster dem einen Ende des Farbenbildes, der zweite der hellsten Gegend des Farbenbildes, der dritte dem letzten Ende des Farbenbildes ziemlich nahe liegt, so findet man bei zwei von Fraunhofer angewandten Glassorten

beim Tafelglase 1,5258; 1,5330; 1,5466,
beim Flintglase 1,6277; 1,6420; 1,6711,

als die Brechungsverhältnisse; das heißt, wenn ein weißer Lichtstrahl 1 Grad vom Einfallslothe abweichend die innere Seite des Glases erreicht, so ist für den in die Luft hervorgegangenen Strahl der Winkel mit dem Einfallslothe

1) beim Tafelglase = 1,526 Gr. = 1°.31′.32″ für den rothen,
1,533 Gr. = 1 . 31 . 59 für den grünen,
1,547 Gr. = 1 . 32 . 49 für den violetten,
2) beim Flintglase = 1,623 Gr. = 1 . 37 . 41 für den rothen,
1,642 Gr. = 1 . 38 . 32 für den grünen,
1,671 Gr. = 1 . 40 . 16 für den violetten.

Bei jenem ist die Abweichung des violetten vom rothen nur 77″, das ist $\frac{77}{5520}$ ungefähr = $\frac{1}{71}$ der ganzen mittleren Brechung; bei diesem dagegen 155″, das ist $\frac{155}{5910}$ ungefähr = $\frac{1}{38}$ der ganzen mittleren Brechung, die Farbenzerstreuung also hier größer.

Die Möglichkeit, farbenfreie Objectivgläser darzustellen, läßt sich nun wohl nicht bezweifeln, und es läßt sich auch der Grund der

Berechnungen, welche zu Angabe achromatischer Gläser führen, ohne Schwierigkeit übersehen. Um diesen Grund möglichst einfach darzustellen, muß ich Sie zuerst darauf aufmerksam machen, daß man alle Brechung der Strahlen aufheben, damit aber auch den Zweck des Objectivs im Fernrohre ganz aufheben würde, wenn man zwei Linsen von einerlei Glase, deren eine genau so concav, wie die andre convex, geschliffen wäre, verbinden wollte. Alsdann nämlich würde die Vorderfläche des zweiten Glases sich genau an die Hinterfläche des ersten anlegen und beide Gläser würden nur ein Glas bilden, und die vierte Fläche würde mit der ersten fast genau parallel sein; dadurch würde, wie bei unsern Uhrgläsern mit parallelen Oberflächen, alle Brechung so gut wie ganz wegfallen. Wählen wir dagegen, noch immer von gleichem Glase, ein minder concaves Glas mit Beibehaltung jenes convexen, so ist der Erfolg, daß die im voranstehenden convexen Glase gebrochenen, dem Brennpuncte **F** (Fig. 99.) zu gehenden Strahlen im concaven Glase zwar etwas minder convergent gemacht werden, aber doch noch in einem entlegneren Puncte f, als dem jetzigen Brennpuncte zusammen kommen. Und nun wird sich der Erfolg leicht verstehen lassen, den es haben muß, wenn die concave Linse eine Flintglaslinse von stärker zerstreuender Brechung ist. Offenbar müssen wir auch hier ihre Concavität so wählen, daß sie die in der ersten Linse eingetretene Brechung nicht ganz ausgleicht; die Flintglaslinse muß daher eine viel geringere Concavität haben, die Halbmesser ihrer concaven Oberflächen müssen größer sein, als die Halbmesser der convexen Oberflächen bei der Tafelglaslinse, und das um desto mehr, je mehr die mittlere Brechung im Flintglase größer ist, als in diesem; haben wir sie aber so gewählt, so erhellt die Möglichkeit einer Ausgleichung derjenigen Ungleichheit, die bei der ersten Linse aus der ungleichen Brechung verschiedener Farbenstrahlen entstanden ist. Hätte jene convexe Linse allein gewirkt, so wissen Sie, daß der Brennpunct der rothen Strahlen etwa in F^{I}, der violetten Strahlen in F^{II} liegen würde. Rückt nun der Brennpunct der mittleren Strahlen vermöge der Wirkung der zweiten Linse nach f hinaus, so erhellt, daß dieses Hinausrücken bei den rothen Strahlen weniger, bei den violetten mehr betragen wird; denn da die rothen hier in starkem Maaße weniger, als die gelben und grünen gebro-

chen werden, so rückt F^1 nicht in gleichem Maaße wie F hinaus, und umgekehrt findet für die violetten, die in starkem Maaße mehr gebrochen werden, ein stärkeres Vorrücken statt, so daß es möglich ist, alle diese drei Brennpuncte völlig oder sehr nahe in einem Puncte f zu vereinigen. Ein Beispiel wird dies vollends deutlich machen.

Wenn man eine Linse von dem oben angenommenen Tafelglase an beiden Seiten gleich in Schalen schleift, deren Halbmesser 60 Zoll ist, so vereinigen sich die Strahlen der drei dort angeführten Farben, die rothen in einer Brennweite von 57,162 Zoll, die grünen 56,286 Zoll, die violetten 54,888 Zoll; es ist daher ganz deutlich, daß wenn man in 57 Zoll Entfernung eine Tafel aufstellen wollte, jeder leuchtende weiße Punct nicht einen einzigen Punct des Bildes, sondern wegen der hier schon stark aus einander gehenden violetten Strahlen einen kleinen Kreis erhellen würde, da der rothe und violette Brennpunct um 2,274 Zoll von einander entfernt sind. Man verbindet daher mit diesem Glase eine hohle Flintglaslinse, deren Zerstreuungsweite für die mittleren Strahlen 96,73 Zoll entfernt ist. Eine solche Linse hätte ihren Zerstreuungspunct für parallel einfallende rothe Strahlen in 98,90 Zoll, für violette Strahlen in 92,53 Zoll Entfernung; aber den Punct, wo sie, dicht an der vorigen anliegend, die mittleren Strahlen vereinigt, finden wir 134,61 Zoll, wo sie die rothen vereinigt, = 135,31 Zoll, wo sie die violetten vereinigt 134,90 Zoll. Die mittleren und violetten sind also fast ganz genau vereinigt, und die rothen, die vorhin um $2\frac{1}{4}$ Zoll von den violetten entfernt vereinigt wurden, sind doch jetzt nur $\frac{2}{5}$ Zoll von diesen entfernt unter sich vereiniget. Die Vereinigung aller ist also wenigstens in hohem Grade besser als vorhin zu Stande gebracht, zumal da bei einem entfernteren Brennpuncte das Auseinandergehen der Strahlen in $\frac{1}{2}$ Zoll Entfernung auch viel weniger beträgt, als bei einem nähern Brennpuncte.

Obgleich nun diese Ueberlegungen und Berechnungen wohl zeigen, daß man der Befreiung von Farben sehr nahe kommen kann, so stehen doch der völligen Farbenlosigkeit große Schwierigkeiten entgegen, und damit verbinden sich noch Schwierigkeiten, die von der sphärischen Gestalt herrühren. Meine eben geführte Be-

rechnung zeigt schon, daß die Vereinigung der violetten und grünen Strahlen nicht zugleich die ganz genaue Vereinigung der grünen und rothen Strahlen herbeiführt; dieses beruht auf einer Ungleichheit in der Farbenzerstreuung bei den einzelnen Farben. Sie wissen, daß wir nach Fraunhofers Entdeckung von einem genau bestimmten rothen, grünen, violetten Strahle, der nämlich einer jener im Sonnenlichte immer gleichen dunkeln Linien benachbart ist, reden können; gesetzt nun bei dem Tafelglasprisma hätten wir drei Strahlen aufgesucht, die gleich weit im Farbenbilde aus einander lägen, so liegen diese im Farbenbilde des Flintglasprisma's nicht gleich weit aus einander, und wir sagen zum Beispiel auch in Beziehung auf die im vorigen Beispiele angegebenen Brechungsverhältnisse, daß die Zerstreuung zwischen Grün und Violett im Flintglase in Vergleichung gegen Grün und Roth stärker ist *). Wegen dieses ungleichen Verhältnisses lassen sich durch zwei verbundene Linsen nicht alle Farbenstrahlen völlig vereinigen, und die Optiker müssen sich begnügen, diejenigen Farbenstrahlen, die am lichtvollsten sind, gut zu vereinigen, damit die nicht genau in denselben Brennpunct zu bringenden Strahlen als die schwächeren wenig schaden. Nach den unter andern von Prechtl gegebenen Anleitungen vereinigt man am besten das an das Orange grenzende lebhaft rothe Licht mit dem noch recht lichtvollen tiefen Blau; dann liegt freilich ein aus dem äußersten Roth und dem äußersten Violett gemischtes Bild ein wenig nach der einen Seite, ein schwaches aus Grün und Gelb gemischtes Bild an der andern Seite des Brennpunctes; aber diese Bilder sind schwach, weil die allermeisten Strahlen der einen Hälfte des Farbenbildes mit den allermeisten der andern Hälfte fast ganz zusammenfallen. Diesen geringen und bei zwei Linsen unvermeidlichen Chromatismus oder Rest von Farben, bemerkt man darin, daß der Mond einen schwach purpurnen Rand hat, wenn das Ocular ein wenig zu sehr, einen schwach gelbgrünen Rand, wenn das Ocular nicht ganz weit genug herausgezogen ist.

---

*) Grün und Roth divergirten 27″, Grün und Violett 50″ im Tafelglase, da nun im Flintglase Grün und Roth 50″ divergiren, so sollten Grün und Violett nur 93″ divergiren. Die Erfahrung giebt aber 105″.

Diesem Mangel könnte man abhelfen, wenn man zwei Körper fände, in welchen zufällig die Zerstreuung der einzelnen Farben genau einander gemäß wäre; und dies ist einer der Gründe, warum Blair und später Barlow Versuche gemacht haben, eine mit Flüssigkeit gefüllte Linse der Glaslinse beizufügen, weil uns hier eine größere Mannigfaltigkeit zur Wahl offen steht und Mischungen verschiedener Flüssigkeiten vielleicht so angeordnet werden könnten, daß sie jenen Zweck, alle Farben zugleich zu zerstören, erfüllten. In der neuesten Zeit ist vorzüglich der Schwefel = Alcohol oder Schwefelkohlenstoff hiezu empfohlen und als dem Zwecke sehr entsprechend gerühmt worden; auch hat Blair besonders sich bemüht zu zeigen, daß man die Veränderungen, die solche Flüssigkeiten etwa erleiden könnten, bei völlig fester Einschließung nicht zu fürchten brauche. Indeß ist es mir noch nicht hinreichend bekannt, ob die Proben, die man mit diesen Flüssigkeiten angestellt hat, mit hinreichend großen Objectiven und mit starker Vergrößerung angestellt sind; und Fraunhofers Bemerkung, daß eine kleine Temperatur=Aenderung allemal das Bild im Fernrohre bei Anwendung von Flüssigkeiten etwas trübe, weil die erkaltenden und die noch nicht erkalteten Theilchen das Licht ungleich brechen, scheint mir so wichtig, daß ich den Zweifel, ob auch wohl Blair und Barlow ihre Prüfungen mit der Strenge angestellt haben, die Fraunhofer anzuwenden gewohnt war, noch nicht für gehoben halte.

Jener kleine Rest von Farben, den man bei Anwendung zweier Gläser nicht wegschaffen kann, läßt sich heben, wenn man dreifach zusammengesetzte Linsen anwendet; aber diese dreifachen Objective, die man früher (besonders wegen der aus der sphärischen Gestalt entspringenden Abweichung) empfahl, scheinen doch, weil an den vielen Oberflächen viel Licht verlohren geht, nicht zweckmäßig zu sein, und Fraunhofers große Fernröhre zeigen, daß man auch ohne diese Zusammensetzung etwas höchst Vortreffliches liefern kann. Um aber doch einen hiebei noch wichtigen Umstand nicht zu übergehen, muß ich einen Augenblick bei der zweiten Abweichung, die nämlich von der Kugelgestalt herrührt, verweilen. Sie erinnern sich, daß, ebenso wie bei großen kugelförmigen Hohlspiegeln statt eines Brennpunctes eine Brennlinie entstand, auch bei Linsengläsern, wenn sie erheblich groß werden, wenn die Oeffnung des Ob=

jectives bedeutend groß sein soll, eine ähnliche Abweichung statt findet, und nicht alle von einem Puncte ausgehenden Strahlen auch in einem Puncte des Bildes gesammelt werden. Um dieser Abweichung willen, die bei einer einfachen Linse unvermeidlich ist und die bei so großen Objectiven, wie namentlich die Fraunhoferschen Fernröhre sie haben, sehr bedeutend wird, würde man, selbst wenn die Farbenzerstreuung es nicht forderte, zusammengesetzte Objective gern anwenden. In Hinsicht auf die Berechnung der richtigen Gestalt der beiden Gläser bieten sich hier mannigfaltige Schwierigkeiten dar, die jedoch von dem jüngern Herschel durch die von ihm bekannt gemachte Bestimmung der Form dieser Gläser, noch früher aber von Fraunhofer, welcher seinen Gläsern die Form gab, auf welche später auch Herschel gekommen ist, sehr glücklich überwunden worden sind. Allerdings ist auch in Beziehung auf diese Abweichung wegen der Kugelgestalt keine absolute Vollkommenheit zu erreichen, indem die mitten zwischen Mittelpunct und Rand einfallenden Strahlen nicht genau mit den im Centro einfallenden Strahlen zusammen kommen, wenn man die Randstrahlen mit den Strahlen um den Mittelpunct genau vereinigt; aber dennoch wird die Abweichung so vermindert, daß wir mit dem, was Fraunhofer auch in dieser Hinsicht geleistet hat, höchst zufrieden zu sein Ursache haben, ja alle Erwartungen sind durch seine Fernröhre übertroffen worden, und die durch ihn erreichte Vollkommenheit der Fernröhre hat die Astronomen in Stand gesetzt, alles das zu sehen, was der ältere Herschel mit seinen Spiegeltelescopen entdecken konnte. Dennoch erwarten wir mit Recht, daß die bisherigen Fortschritte noch immer zu weiteren Fortschritten führen werden und dürfen unsern Nachkommen wohl das Glück, immer noch heller zu sehen, immer noch tiefer in die Kenntniß des Sternenhimmels einzudringen, mit Sicherheit voraussagen.

Es ist Zeit, daß ich diesen Gegenstand verlasse, und ich erwähne daher nur noch kurz den Umstand, der von einer andern Seite sich der Verbesserung der Fernröhre entgegen setzte. Dieser Umstand liegt in der Unvollkommenheit des Glases. Ein recht schönes Glas, das wir für ganz gleichartig zu halten geneigt sind, hat doch sehr oft kleine Ungleichheiten, die bei der scharfen Prüfung, die ein Fernrohr bei starker Vergrößerung darbietet, sichtbar werden,

indem sie das Bild im Fernrohre undeutlich machen. Besonders leiden die schweren Glas-Arten, die man ihrer starken Farbenzerstreuung wegen anwendet, an diesem Uebel; die Klage über Streifen im englischen Flintglase war in der neuern Zeit allgemein, und man fand darin das größeste Hinderniß der Verfertigung so guter Fernröhre, wie schon Dollond sie geliefert hatte. Fraunhofer hat durch die Darstellung eines höchst vollkommenen Glases sich den Weg zu der Verfertigung so vortrefflicher Fernröhre gebahnt.

Endlich muß ich denn auch noch mit wenig Worten erwähnen, daß allerdings auch die Augengläser des Fernrohrs noch eine Farbenzerstreuung veranlassen und einen farbigen Rand hervorbringen, wenn auch das vom Objectivglase hervorgebrachte Bild ganz rein von allen Farben wäre. Diesen Farbenrändern kann man durch eine angemessene Verbindung mehrerer Oculare abhelfen, und die Rücksicht hierauf bestimmt zum Theil die Anbringung und die Art der Zusammenordnung mehrerer Augengläser in Fernröhren und Vergrößerungsgläsern.

Zehnte Vorlesung.

Ehe ich zu den Erscheinungen übergehe, m. h. H., die sich uns bei farbiger Beleuchtung der Körper darbieten, und die unser Auge unter gewissen Umständen da wahrnimmt, wo auch kein objectiver Grund die nächste Veranlassung dazu zu geben scheint, werde ich heute bei einigen meteorischen Erscheinungen verweilen, die theils sehr bekannt, theils wenigstens, wenn wir sie auch seltner zu sehen Gelegenheit haben, merkwürdig genug sind, um Ihre Aufmerksamkeit zu verdienen.

Der Regenbogen.

Den Regenbogen brauche ich gewiß nur zu nennen, um in Ihnen den Wunsch, die Entstehung dieser schönen Natur-Erscheinung genau kennen zu lernen, zu erwecken, und die bisherigen Betrachtungen haben uns dazu den Weg vollkommen gebahnt. Daß

er von Brechung der Lichtstrahlen abhängt, daß die ungleiche Brechung der Lichtstrahlen seine Farben hervorbringt, das läßt sich einigermaßen vermuthen, und daß Regentropfen erforderlich sind, um ihn hervorzubringen, ist aus der Erfahrung wohl bekannt, indem er nur erscheint, wenn da, wo es regnet, zugleich die Sonne scheint.

Indem die Sonne auf die herabfallenden Regentropfen scheint, werden ohne Zweifel die allermeisten Strahlen von diesen kleinen Wassermassen durchgelassen, und wir sehen daher die Sonne auch durch den herabfallenden Regen; aber einige Sonnenstrahlen werden von den Tropfen zurückgeworfen, welches uns schon in der sehr merklichen Schwächung des durchgelassenen Sonnenlichtes kenntlich wird, und auch ja mit andern Erfahrungen an durchsichtigen Körpern übereinstimmt. Diese Zurückwerfung findet hier, wie fast bei allen durchsichtigen Körpern, theils an der Vorderfläche, theils an der Hinterfläche statt; aber daß sich uns in einer bestimmten Entfernung von der Sonne eine so lebhafte Erleuchtung zeigen muß, wie sie sich uns im Regenbogen darbietet, das ist es, was wir näher müssen nachzuweisen suchen.

Entstehung des Hauptregenbogens.

Wenn (Fig. 100.) **AB** einen kugelförmigen Regentropfen vorstellt, auf welchen Sonnenstrahlen nach der Richtung **SA**, **sD** einfallen, so ist es offenbar, daß der bei **A** einfallende Strahl, weil er grade gegen den Mittelpunct gerichtet ist, ungebrochen bis **B** dringt, und dort theils ungebrochen hervordringt, theils in sich selbst zurückgeworfen nach **A** und **S** gelangt. Ein bei **D** einfallender Strahl wird die hintere Seite des Tropfens in **E** so erreichen, daß **EB** kleiner als **AD** ist, und der zurückgeworfene Theil des Strahles wird nach **EF** zurückgeworfen bei **F** gebrochen, nach **t** gelangen, jedoch wird so nur ein geringer Theil des einfallenden Lichtes nach **t** gelangen, also ein dort sich befindendes Auge auch nur einen schwachen Licht-Eindruck erhalten können. Diese Bemerkung, die mit dem Entstehen eines so schönen glänzenden Phänomens wie der Regenbogen im Widerspruch zu stehen scheint, ist gewiß richtig in Beziehung auf das von **A** bis **D** einfallende Licht, welches, wie die divergirenden Richtungen der Linien **AS**, **yy**, **Ft** zeigen, zer-

streut wird, und also nur ungefähr so wie bei andern zerstreut zurückgeworfenen Strahlen dem Auge eine mäßige, hier sogar ziemlich matte Erleuchtung, nämlich nur das Grau eines der Sonne gegenüber stehenden Regenschauers, zeigt. Aber wenn man sorgfältig die 10 Grad, 20 Grad, 30 Grad von A einfallenden Strahlen zeichnet, so sieht man bald, daß die Bogen bei B, welche diese Strahlen oberhalb B abschneiden, ungleich sind, und immer kleiner werdend, endlich gar kein Höherrücken des Punctes E mehr ergeben, so daß die bei 50 Grad einfallenden Strahlen den Punct E am höchsten geben und die noch höher bei 70 Grad einfallenden Strahlen wieder näher bei B einschneiden. Man findet nämlich für AD = 10 Grad, BE = 5 Grad; für AD = 20^0, BE = $9\frac{3}{4}{}^0$; für AD = 30^0, BE = 14^0; für AD = 40^0, BE = $17\frac{2}{3}{}^0$; für AD = 50^0, BE = $20\frac{1}{4}{}^0$; für AD = 60°, BE = 21^0; für AD = 70^0, BE = $19\frac{2}{3}{}^0$; für AD = 80^0, BE = $15\frac{1}{4}{}^0$; für AD = 90^0, BE = $7\frac{1}{4}{}^0$. Dieser merkwürdige Umstand, daß für die bei 50° und 60° einfallenden Strahlen u v und w x die gebrochenen Strahlen am höchsten und beinahe in einen Punct fallen, hat aber einen Erfolg in Hinsicht auf das reflectirte Licht, woraus die Entstehung des Regenbogens sich sehr bestimmt erklärt. Wenn wir uns statt des Regentropfens eine Glaskugel denken, die wir den Sonnenstrahlen so aussetzen, daß immer nur 10 Grade in der Gegend von D, v, x, unbedeckt wären, statt daß alle übrigen Puncte gegen das auffallende Sonnenlicht beschützt würden, so würde das von A bis 10° auffallende Licht sich reflectirt auf den Raum S h, das zwischen 10 und 20° einfallende Licht sich reflectirt auf den Raum h y verbreiten; das von 50° bis 60° auffallende Licht zerstreut sich dagegen gar nicht, sondern bleibt, fast genau parallel ausfallend, so vereinigt, wie es einfiel. Ein in y stehendes und nach der beleuchteten Hinterseite der Kugel sehendes Auge würde nur durch Zurückwerfung die wenigen Strahlen empfangen, die auf den Bogen von einigen Minuten einfallen; ein bei z z stehendes Auge dagegen empfängt alle Strahlen, die als zurückgeworfene dem Bogen von mehreren Graden zugehören, und ein von y nach t, nach z z fortgehendes Auge muß daher von z z aus, nach der Richtung z p blickend, einen viel erheblicheren Glanz bemerken, als in jeder anderen Stellung. Und

diese Richtung z p ist es eben, in welcher wir die helle Erscheinung des Regenbogens sehen, der 42 Grade von dem der Sonne gegenüberliegenden Puncte, 42 Grade von dem Puncte, wohin der Schatten meines Kopfes fällt, erscheint. Daß übrigens das, was hier von einem Tropfen gezeigt ist, der 42 Grad von jenem Puncte entfernt liegt, auch gilt für alle eben so entfernt, rund um jenen Punct liegende Tropfen, ist offenbar, und es muß sich daher ein heller Kreis von 42 Grad Halbmesser uns zeigen. Der Regenbogen ist dieser helle Kreis, sein höchster Punct steht 42 Grade über dem Horizonte, wenn der Regenbogen sich beim Aufgange oder Untergange der Sonne zeigt; steigt die Sonne höher, so rückt der Schatten meines Kopfes, der Mittelpunct des Regenbogens, unter den Horizont hinab und der Bogen selbst erscheint niedriger; bei 40 Grad Sonnenhöhe sieht man den Regenbogen nur noch ganz nahe am Horizonte und bei noch höherm Stande der Sonne gar nicht mehr.

Hiebei läßt sich noch eine Bemerkung machen, die man bei aufmerksamer Beobachtung bestätigt findet. Wenn ein Auge in S das an der Hinterseite des Tropfens gespiegelte Sonnenbild sehen will, so muß es sich grade nach A, das ist nach dem der Sonne entgegengesetzten Puncte, richten; ein Auge in y muß nach der Richtung y y blicken, ein Auge in t nach t F, und jede dieser Richtungen ist etwas weiter von der der Sonne entgegengesetzten Richtung entfernt, bis man nach z kömmt; hier aber ist der Winkel p z q zwischen der Richtung p z, nach welcher jener reflectirte Strahl ins Auge kömmt, und der Richtung z q, die den der Sonne entgegengesetzten Punct bezeichnet, größer als irgendwo; ein Auge jenseits z erhält aus diesem Tropfen gar keinen reflectirten Strahl mehr, weil die bei 80° eingefallenen Strahlen nach der Zurückwerfung in der Richtung n r hervordringen. Diese Ueberzeugung, die sich an die genaue Betrachtung der Zeichnung unmittelbar anschließt, zeigt, daß ein in z stehendes Auge diese reflectirten Strahlen aus dem hier gezeichneten Tropfen in dem reichlichsten Maaße erhält, weil es den sich nicht zerstreuenden Strahlen ausgesetzt ist; richtet das Auge in z seinen Blick nach einer mit t F parallelen Richtung, die weniger von z q abweicht, so erhält es aus einem etwas niedrigeren Tropfen den auf 40 Grad eingefallenen Lichtstrahl, und so

aus noch niedrigern Tropfen, die bei 20 Grad eingefallenen Strahlen und so weiter; blickt es aber weiter als z p von z q abwärts, so erhält es durchaus gar keine solche Strahlen, die von der Hinterseite des Tropfens zurückgeworfen werden. In der That bemerkt man, daß die unmittelbar über dem Regenbogen liegende Gegend des Himmels dunkler, als die innerhalb des Regenbogens enthaltene, ist; man bemerkt dies recht deutlich dann, wenn bei Sonnen-Untergang ein Regenbogen erscheint, und die roth scheinende Sonne den ganzen östlichen Himmel innerhalb des Regenbogens mit einem röthlichen Grau färbt, indem dann der oberhalb des Bogens liegende Theil der Wolken- oder der Regenwand von dieser röthlichen Färbung fast gar nichts darbietet, deswegen weil sich innerhalb des Regenbogens mit dem überall von den Wolken und vom Regen zurückgeworfenen Lichte auch noch einige von der Hinterseite der Tropfen reflectirte Strahlen verbinden, die oberhalb des Regenbogens gänzlich fehlen.

Die bisherigen Betrachtungen reden nur von einem hellen, nicht von einem farbigen Bogen; aber Sie übersehen leicht, daß die ungleiche Brechung der verschiedenfarbigen Strahlen, sich auch hier zeigen wird. Wäre die Brechung stärker, so würde offenbar der Strahl s D einen niedrigern Punct als E, näher nämlich an B liegend, erreichen, eben darum aber auch bei der Zurückwerfung nicht in F, sondern zwischen F und y ankommen, und also in einer weniger gegen S B oder gegen z q geneigten Richtung ins Auge kommen; und da eben das für die wirksamen Strahlen p z statt findet, so würde das Auge z den Regenbogen näher bei q sehen, der Regenbogen würde einen kleinern Halbmesser haben, wenn die Strahlen stärker gebrochen würden. In dem Falle, der sich so oft unsrer Beobachtung darbietet, müssen also die stärker gebrochenen violetten Farbenstrahlen den innern Rand des Bogens, die minder gebrochenen rothen Farbenstrahlen, den äußern Rand darstellen, so wie es wirklich bei dem Hauptregenbogen der Fall ist. Nimmt man bei Wasser mit Fraunhofer das Brechungsverhältniß für rothe Strahlen, die dem Ende des Farbenbildes nahe liegen, wie 1 zu 1,331, für violette Strahlen 1 zu 1,344, so ist des rothen Bogens Halbmesser oder Abstand vom Schatten des Kopfes des Beobachters 42°.24′; für den violetten Bogen dagegen 40°.28′. Die mitt-

leren Farben liegen in ihrer gewöhnlichen Ordnung zwischen beiden. Da die Sonne kein einzelner Punct, sondern eine ziemlich große Scheibe ist, so sind die Farben nicht ganz rein. Verstehe ich unter dem Mittelpuncte des Bogens den Punct, der genau dem Mittelpuncte der Sonne gegenübersteht, so fällt der vom obern Sonnenrande entstehende rothe Bogen 16 Min. tiefer als der vom Sonnenmittelpuncte entstehende, jener mischt sich daher mit dem gelben Bogen des von der untern Hälfte der Sonne hervorgebrachten Bogens und die Farben sind deshalb minder rein, als sie bei geringerem Durchmesser der Sonne sein würden.

Entstehung des zweiten, schwächeren Regenbogens.

Diese Betrachtungen betrafen den Hauptregenbogen; der Nebenregenbogen, der gewöhnlich sich auch zeigt, aber allemal viel schwächer ist und oberhalb des Hauptbogens liegt, entsteht durch zweimalige Zurückwerfung der Lichtstrahlen innerhalb des Tropfens. Es ist nämlich gewiß, daß beim Eindringen des Lichtstrahls in **D** (Fig. 100.), beim Antreffen an die Hinterfläche in **E**, und endlich auch beim zweiten Antreffen an die Oberfläche des Tropfens in **F**, ein Theil des Lichtes reflectirt wird, daß also auch in **F** nicht der ganze bei **E** zurückgeworfene Strahl hervordringt, sondern ein, wenn gleich gegen das Ganze geringer Theil eine abermalige Reflexion leidet. Bei dieser zweiten Zurückwerfung giebt es nun einen ebensolchen Fall, wie bei der einmaligen Reflexion; es tritt nämlich zwar in den meisten Fällen eine Zerstreuung der Lichtstrahlen ein, aber für gewisse Tropfen findet diese Zerstreuung nicht statt, sondern ein Auge in **O** (Fig. 101.) erhält alles Licht vereinigt, unzerstreut zurück, das aus dem auf einen sehr erheblichen Bogen bei **L** aufgefallenen Lichte durch die Reflexion in diese Richtung gebracht ist. Es wird nicht nöthig sein, hier abermals eine ganze Folge auffallender Strahlen zu zeichnen, sondern es ist hinreichend zu bemerken, daß wenn **BA** (Fig. 101.) den gegen die Sonne gerichteten Durchmesser des Tropfens bezeichnet, und man $AL = 71\frac{1}{2}$ Grad nimmt, der richtig gezeichnete gebrochene Strahl **LM**, der nach **MN**, **NP** reflectirt wird und in **PO** gegen das Auge **O** zugeht, derjenige ist, dessen nächst benachbarte mit ihm parallel hervorgehen. Daß diese Strahlen also wieder wirk-

same Strahlen heißen müssen, in Vergleichung gegen die, welche sich zerstreuen und deßhalb gar keinen erheblichen Eindruck auf das Auge machen, und daß das Auge O in der Richtung O P den Glanz der zweimal reflectirten Strahlen so gut, als die Schwäche dieser Strahlen es verstattet, sehen muß, ist ganz offenbar. Die Rechnung giebt für den Winkel P O Q oder für den Abstand dieses hellen Kreises vom Schatten des Kopfes $50\frac{1}{2}$ Grad für die rothen, $53\frac{3}{4}$ Grad für die violetten Strahlen. Dieser zweite Regenbogen, der der Natur der Sache nach immer nur matt sein kann, liegt also höher als der Hauptbogen, umgiebt diesen, und hat das Roth an der innern, das Violett an der äußern Seite, weil bei stärkerer Brechung der Winkel P O Q größer wird. In der **Fig. 102.** ist ungefähr dargestellt, wie beide Arten von Strahlen zum Auge O gelangen, indem die bei P liegenden Tropfen den lebhaftern, die bei Q liegenden den schwächern Regenbogen darstellen.

Um die Bedenklichkeit, ob denn diese im Innern des Tropfens reflectirten Strahlen ein so glänzendes Phänomen, wie der Regenbogen ist, hervorbringen können, zu beseitigen, muß ich noch eine Bemerkung beifügen. Ich habe immer nur von einem Tropfen, der uns diese Erscheinung darbiete, gesprochen; es läßt sich aber leicht übersehen, daß alle in der ganzen Linie (**Fig. 102.**) O P liegenden Tropfen ebenso geeignet sind, die wirksamen Strahlen dem Auge O zuzusenden, und daß also jeder der vielen tausend Tropfen, die eben im Fallen durch die Linie O P gehen, zu Vermehrung des Lichtes des Regenbogens beiträgt. Aus diesem Grunde ist der Regenbogen matt, wenn der Regen schwach ist, lebhaft, wenn die Zahl der Tropfen groß ist.

Auch der Mond bietet zuweilen die Erscheinung des Regenbogens dar, doch unterscheidet man in dem matten Lichte des Mondregenbogens nicht immer die Farben.

Andre Erscheinungen bei dem Regenbogen.

Ein Umstand ist bei dem Regenbogen noch nicht ganz erklärt, nämlich der, daß am Hauptregenbogen sich nicht selten an der innern Seite eine Wiederholung des Grün und Violett zeigt, so daß an den violetten Bogen, den unsre Theorie angiebt, sich noch ein schmaler grüner, dann ein violetter, wieder ein grüner und

noch ein violetter Bogen anschließt. Es ist ungewiß, ob dies von der nicht genau kugelförmigen Gestalt der Tropfen kommen kann, oder ob es mit den Erscheinungen der Beugung des Lichtes in Verbindung steht. Diese Farbenwiederholung ist gewöhnlich nur an dem höchsten Theile des innern Bogens kenntlich und verliert sich da, wo der Bogen gegen den Horizont herabgeht.

Leichter zu erklären ist dagegen die zuweilen beobachtete Erscheinung von vier Regenbogen, die sich durchschneiden. Sie kommen, so viel mir bekannt ist, nur da vor, wo man ein hinreichend großes stilles Wasser hinter sich hat, indem man nach dem Regenbogen sieht. Da nämlich haben die aus dem Wasser auf die Regentropfen zurückgeworfenen Strahlen eben die Wirkung, als ob noch eine zweite Sonne unterhalb des Horizontes stände, und es erscheint ein farbiger Kreis, dessen Mittelpunct da liegt, wo die von der abgespiegelten Sonne durch den Kopf des Beobachters gezogene Linie hinweiset. Auch hier sieht man, wenn das aus dem Wasser zurückgeworfene Licht lebhaft genug ist, einen Hauptregenbogen und einen Nebenregenbogen. Das Wasser, aus welchem die Sonnenstrahlen reflectirt werden, muß groß genug sein, damit alle in der gehörigen Lage befindlichen Regentropfen von den zurückgeworfenen Strahlen getroffen werden.

Die Ringe um Sonne und Mond, Nebensonnen u. s. w.

Ein viel zusammengesetzteres Phänomen, nämlich die Erscheinung der Nebensonnen, der Ringe um Sonne und Mond, der hellen, durch die Sonne oder den Mond gehenden Kreise, hängt auch von Brechung und Zurückwerfung des Lichtes ab. Die kleinen Höfe um den Mond dagegen entstehen durch Beugung des Lichtes und gehören nicht hieher. Jene Erscheinungen kommen in sehr zusammengesetzter Form vor; ich fange indeß mit den einfachern, gar nicht seltenen Erscheinungen an, und gebe die Erklärung, die ich für die richtigste halte, mit Bemerkung der Puncte, die noch zweifelhaft scheinen.

Helle durch die Sonne gehende Kreise.

Man sieht sehr oft, am besten im Winter bei starkem Froste, bei Sonnen-Aufgang oder Sonnen-Untergang einen feurigen

Streifen von der Sonne aus senkrecht hinaufwärts gehen, der auch nach Sonnen=Untergang noch einige Zeit sichtbar bleibt. Da man diese Erscheinung zuweilen dann beobachtet, wenn bei heiterem Froste feine Schneenadeln in der Luft schweben, so ist es wohl kaum zweifelhaft, daß die Reflexion des Sonnenlichtes von diesen cylindrischen oder prismatischen Schneenadeln die Erscheinung hervorbringt. Die Ueberzeugung davon ist bei mir dadurch bestärkt worden, daß man auch am Tage zuweilen bei heiterm Himmel und bedeutender Kälte diese feinen Schneenadeln als glänzende Pünctchen da erblickt, wo sie das Sonnenlicht zurückspiegeln, und daß dies am besten der Fall zu sein pflegt, wenn sie unter der Sonne vorbei ziehen. Gewöhnlich schweben zu solchen Zeiten diese feinen Schneecrystalle nur sparsam in der Luft, und die meisten horizontal; man sieht sie am besten, wenn man im Schatten einer Wand das Auge so stellt, daß es kaum noch von dem verticalen Rande der Wand gegen die Sonne geschützt wird; treibt dann der Wind diese Nadelchen ungefähr senkrecht gegen die nach der Sonne gezogene Linie vorbei, so sieht man sie, so klein sie sind, vorglänzend, wenn sie unter der Sonne vorbeiziehen.

Daß aber diese in allerlei Neigungen schwebenden Spiegelflächen, wie sie die Seiten solcher horizontalen Nadeln darbieten, die Erscheinung eines hellen Streifen bewirken können, ist offenbar; denn wenn (**Fig. 103.**) **S O** der zum Auge gelangende Sonnenstrahl ist, so würde ein Spiegel **b c** den Strahl **s a**, ein Spiegel **d e** den Strahl **t f**, nach **O** reflectiren, und dem Auge **O** würden sich Sonnenbilderchen in der Richtung **O a**, **O f** und so in allen Richtungen zeigen. Diese Sonnenbilderchen, aus vielen tausend kleinen Spiegeln uns zugesandt, können gewiß jene Erscheinung eines glänzenden, von der Sonne ausgehenden Schweifes hervorbringen. Daß man ihn vorzüglich gut nur dann sieht, wenn die Sonne im Horizonte steht, kann theils davon herrühren, daß die sehr weit in der Atmosphäre fortlaufende, nach einem niedrigen Puncte gerichtete Gesichtslinie mehr Schneenadeln darbietet, theils auch davon, daß die nicht ganz in der richtigen Richtung liegenden Nadeln am Horizonte mehr als in der Höhe zu Verstärkung dieses glänzenden Verticalkreises beitragen müssen.

Eine zweite Erscheinung, die sich eben so einfach zu erklären scheint, ist ein zuweilen sichtbarer horizontaler heller Kreis, der durch die Sonne geht. Man sieht ihn fast immer in Verbindung mit Nebensonnen. Ein solcher Kreis muß sich zeigen, wenn verticale Schneenadeln in der Luft schweben; denn wenn man einen vertical gehaltenen Spiegel in allerlei Richtungen, allemal aber so hält, daß er ein Sonnenbild zeigt bei beständig verticaler Lage, so erscheint dieses Sonnenbild ebenso hoch über dem Horizonte, als die Sonne selbst; unzählige solche Spiegel in der Luft schwebend können überall ein reflectirtes Sonnenlicht und zwar immer in der scheinbaren Höhe der Sonne geben, also einen hellen Horizontalkreis. Sind die Nadeln nicht vertical, aber schweben zahlreich in parallelen und etwas geneigten Richtungen, so muß dieser Kreis etwas von der horizontalen Lage abweichen; aber da er immer durch die Sonne geht, so schließt sich in der Nähe der Sonne der aus den etwas geneigten Nadeln hervorgehende Kreis an den Horizontalkreis an und verstärkt ihn, und hierin liegt ein Grund, warum der helle Kreis in der Nähe der Sonne sich lebhafter zeigt. Eine genauere Untersuchung beweiset, daß bei etwas höherem Stande der Sonne selbst ziemlich geneigt schwebende Nadeln bis zu erheblichen Entfernungen von der Sonne zu Verstärkung des aus den verticalen Nadeln hervorgehenden Horizontalkreises beitragen, und vielleicht ist das ein Grund, warum man ihn im Winter öfter beim Monde (wenn ich nicht irre,) gesehen hat, als bei der Sonne, weil nämlich der Mond in der Zeit seines besten Lichtes im Winter hoch steht, die Sonne aber niedrig.

Dieser horizontale Kreis hat sich nicht selten theilweise mit dem verticalen Streif zugleich gezeigt, und dann entweder ein Kreutz dargestellt, in dessen Durchschnittspuncte die Sonne oder der Mond stand, oder ein Kreutz diesen Gestirnen gegenüber. Die eben angegebene Erklärung ist auf diese Erscheinung anwendbar, nur steht ihr das im Wege, daß wir bei der Erscheinung des Kreutzes horizontalschwebende und verticalschwebende Nadeln zugleich annehmen müssen. Ohne diese Schwierigkeit ableugnen zu wollen, glaube ich doch, daß das so sehr Genügende jener Erklärung uns berechtigt, ihr getreu zu bleiben, und daß wir die Vermuthung, es möge in einer Luftschichte die eine Lage der Nadeln, in einer

andern Luftschichte die andre Lage vorherrschend sein, wagen dürfen, um diese Verbindung beider Phänomene zu erklären. Möglich ist dies wenigstens, da ein Luftzug in der einen Schichte die horizontale Lage bewirken kann, während in der andern Schichte völlige Windstille die verticale Lage begünstigt.

Ringe um die Sonne.

Diese hellen Kreise kommen am meisten im Winter vor, und dieses scheint der Erklärung aus Eisnadeln zu einer Bestätigung zu gereichen; aber eine zweite Erscheinung, die großen Ringe um Sonne und Mond, in deren Mittelpuncte diese Gestirne stehen, zeigen sich auch im Sommer oft, und es könnte daher zweifelhaft scheinen, ob man auch diese aus der Brechung in Eisnadeln erklären könne. Indeß da, wie Sie bald sehen werden, sich eine genau der Theorie des Regenbogens ähnliche Erklärung für diese Ringe darbietet, wenn man prismatische, in der Luft schwebende Eisnadeln annimmt, so kann man wohl auch für sie einer daran geknüpften Theorie seinen Beifall nicht versagen, um so weniger, da sich die Ringe so oft mit dem hellen Horizontalkreise und mit allen den Kreisen verbinden, die bei dem vollständigen Phänomen der Nebensonnen gesehen und aus Eisnadeln erklärt werden. Der Umstand, daß auch im Sommer diese Ringe gar nicht selten sind, ist auch wohl dieser Theorie nicht entgegen, da in sehr großen Höhen doch selbst im Sommer die Gefrierkälte herrscht, und also dort auch Eisnadeln schweben oder herabsinken können; fallen sie bis in die untern, wärmern Schichten herab, so werden sie nicht allein aufthauen, sondern ihrer Kleinheit wegen sogar auch völlig in Dünste aufgelöst werden, und uns daher nur den Himmel als etwas weißlich, wie mit dünnem Dunste bedeckt, zeigen.

Diese Ringe um Sonne und Mond haben fast immer den Halbmesser von 21 bis 22 Graden, an ihrem innern Rande sind sie genauer begrenzt, als am äußern, und der Raum innerhalb scheint weniger weißlich, weniger Licht zurückwerfend, als der übrige Himmel. Obgleich die Farben dieser Ringe weit weniger lebhaft sind, als beim Regenbogen, so läßt sich doch etwas Roth am innern Rande wahrnehmen, und die Nebensonnen, die sich oft als lebhaftere Theile dieses Ringes zeigen, haben deutlich das Roth der

Sonne am nächsten und daran sich anschließend Gelb, Grün, Blau, jedoch alle diese Farben mit einem lebhaften weißen Glanze gemischt, und nirgends rein hervortretend. Wir wollen jetzt sehen, was die Theorie der Brechung in Eisprismen uns für Bestimmungen giebt.

Daß die in der Luft sich bildenden Eisnadeln dreiseitige Prismen und zwar gleichseitige sind, das nehmen wir mit gutem Grunde an, weil beim Gefrieren des Wassers sich überall die Crystallisationen in Winkeln von 60 Graden bilden, und weil die sechsspitzigen Schneesternchen Beweise für diese Crystallform liefern. Wir fragen also nun, wo kann bei den mannigfaltigen Lagen solcher kleinen Eisprismen, die gewiß sämmtlich Licht zurückwerfen, sich irgendwo eine hellere Erscheinung durch zurückgeworfene oder gebrochene Lichtstrahlen zeigen? Eine solche Licht-Erscheinung muß sich da zeigen, wo Prismen, die nicht ganz genau gleich liegen, doch die zurückgeworfenen Strahlen nach gleicher Richtung in das Auge senden, und dies findet bei den Prismen statt, in welchen die Brechung der Strahlen am kleinsten ist. Offenbar haben wir, so lange die Nadeln noch so klein sind, daß sie weder vom Winde noch von der Schwere mit bedeutender Gewalt fortgetrieben und in eine bestimmte Richtung gebracht werden, keinen Grund, eine einzige Richtung der Nadeln als vorwaltend anzusehen. Die Brechung in jeder dieser Nadeln zeigt uns also das Sonnenbild an einem andern Orte, so wie die durch das Prisma gesehenen Gegenstände ihren scheinbaren Ort ändern, wenn wir das Prisma nach und nach in andere Stellungen bringen; aber so wie wir es durch keine Drehung des Prisma's erzwingen können, daß der Gegenstand, den wir durch das Prisma sehen wollen, ganz nahe bei dem wahren Orte desselben erscheine, sondern selbst bei der möglichst geringsten Brechung, das heißt in dem Falle, wo der Strahl im Innern des Prisma's mit der Seite $A^I B^I$ (Fig. 104.) parallel ist, ein bestimmter, noch sehr erheblicher scheinbarer Abstand **s O a** des durch das Prisma gesehenen Gegenstandes vom wahren Orte desselben statt findet, ebenso kann uns auch durch jene Eisprismen das Sonnenbildchen zwar in sehr verschiedenen Entfernungen vom wahren Orte der Sonne, aber in keinem kleinern Abstande, als in jenem, den ich eben als den kleinsten angegeben

habe, erscheinen. Nahe bei der Sonne erscheint uns also der blaue Himmel zwar vermöge der an den Dünsten und an den äußern Seiten der Prismen reflectirten Strahlen etwas erleuchtet, aber die im Prisma gebrochenen Strahlen fangen erst in der eben bestimmten Entfernung, welche die Rechnung zu $21\frac{1}{4}$ Grad für die rothen, zu 22 Grad für die violetten Strahlen angiebt, an, zu diesem matten Lichte beizutragen. Dies ist der Grund, warum ein Raum von 21 Graden um die Sonne wenig glänzend und mit einem rothen Ringe, dem die übrigen Farben sich anschließen, umgeben erscheint. Aber in eben diesem Abstande muß sich zugleich ein lebhafteres Licht, als in größern Entfernungen von der Sonne zeigen. Prismen, die weiter von der Sonne abstehen, müssen eine sehr genau bestimmte Stellung haben, wenn sie den gebrochenen Strahl ins Auge senden sollen, indem diejenigen, deren Stellung nur um 1 Grad geändert ist, den Lichtstrahl schon nicht mehr dem Auge zusenden; aber in 21 bis 22 Grad Entfernung kann man das Eisprisma sehr erheblich drehen, ohne daß dadurch die Richtung des ausfallenden Strahles erheblich geändert wird, und das Auge erhält daher hier aus einer Menge von Prismen die gebrochenen Strahlen, und sieht hier den Himmel vorzüglich hell erleuchtet, — einen hellen Ring um die Sonne. Dieser sollte innen roth, außen violett sein, aber da die Farben weit weniger als bei dem Regenbogen aus einander gebrochen werden, so fallen die rothen vom einen Sonnenrande kommenden Strahlen mit den violetten vom andern Rande zusammen und geben dem Ringe die weißliche Farbe, aus welcher nur das Roth am innern Rande noch am lebhaftesten hervortritt.

Diese schon von Mariotte angegebene, von Venturi und Fraunhofer genauer durchgeführte Theorie des ersten Ringes scheint als durchaus wohl begründet angesehen werden zu können. Es schließt sich aber nun an diese Theorie sehr natürlich die Frage, ob es denn nicht noch andre Lagen dieser Eisprismen gebe, die ebenfalls etwas Merkwürdiges darbieten. Ich habe schon bemerkt, daß Prismen, die weniger als 21 Grad scheinbaren Abstand von der Sonne haben, gar keine gebrochenen Strahlen dem Auge zusenden, und daß in 21 bis 22 Graden Abstand diejenigen Prismen liegen, die den reichsten Antheil von Strahlen zum Auge ge-

langen lassen; stellt man die Betrachtung für noch größere Abstände an, so wird je mehr und mehr die Menge der zum Auge gelangenden Strahlen geringer, und Prismen, die über 43½ Grad von der Sonne liegen, senden gar keine gebrochenen Strahlen mehr in das Auge. Sie werden sich erinnern, daß wir früher einmal den violetten und blauen Rand betrachteten, der die Grenze der durch das Prisma vermittelst gebrochener Strahlen gesehenen Gegenstände umgab, und ebenso sollte hier in 43 Grad Entfernung von der Sonne ein violetter und blauer Rand wegen dieser äußersten Grenze der gebrochenen Strahlen sich darstellen. Indeß könnte dieser Rand nur sehr schwach sichtbar sein, und gewiß kann er nicht das Einzige sein, wodurch sich uns in ungefähr 43 Graden Abstand von der Sonne zuweilen ein sehr schöner zweiter Ring darstellt. Dieser, freilich nur selten sichtbare, also wohl mehr vom zufälligen Zusammentreffen günstiger Umstände abhängende Ring zeigt sehr schöne, reine Farben, reiner als sie selbst im Regenbogen vorkommen; er hat sein Roth der Sonne am nächsten und ein schönes Grün und Blau oder Violett mehr von der Sonne entfernt; aber selten sieht man mehr als ein kleines Stück grade über der Sonne.

Offenbar reicht die eben angegebene Bemerkung nicht hin, um diesen Ring zu erklären; aber aus eben der Gegend können noch andre wirksame Lichtstrahlen in das Auge kommen. Wenn nämlich (Fig. 105.) zwei Prismen r n q, q m p so verbunden sind, oder auch nur in einer solchen Stellung frei neben einander schweben, daß der durch das erste Prisma schon gebrochene Strahl x w mit der Oberfläche des zweiten Prisma's einen ebenso großen Winkel als mit der des ersten macht, so bringt die Brechung im zweiten Prisma ebensowohl wirksame Strahlen hervor, wie es im vorigen Falle bei einem Prisma statt fand. Es gehen nämlich zwar die Farbenstrahlen jeder in verschiedenen Richtungen hervor, aber gleichfarbige Strahlen, die unter etwas verschiedenen Richtungen auffallen, gehen in einerlei Richtung hervor, so daß auch hier mehrere Prismen zu den dem Auge zugesendeten Strahlen ihren Beitrag liefern. Hier könnte es nun freilich scheinen, als ob die Verbindung unter allerlei Winkeln geschehen könne, wodurch dann offenbar Ringe von ganz verschiedenen Durchmessern entstehen müßten, und also keiner lebhafter als der andre hervortre-

ten würde. Dieser Einwurf ist nicht ganz ungegründet, indem zum Beispiel, wenn wqx = 36° ist, ein Ring von ungefähr 56 Grad Halbmesser entstände, wenn jener 64 Grad ist, dieser von 43 Gr. Halbmesser für die rothen Strahlen wird; aber dabei tritt nun doch der merkwürdige Umstand ein, daß für den Winkel wqx = 70° bis wqx = 90°, wo dieser Ring so klein, als es überhaupt möglich ist, wird, seine Größe fast völlig gleich bleibt, und also diese unter so verschiedenen Winkeln verbundenen Prismen, wenn sie in der richtigen Stellung gegen den Lichtstrahl sind, alle geeignet sind, einen rothen Ring von 42° 30′, einen violetten Ring von 44° Halbmesser hervorzubringen. Dieser Halbmesser des Ringes ist genau — so weit die wenigen bis jetzt angestellten Messungen dies zu behaupten gestatten, — der Halbmesser des beobachteten zweiten Ringes, welcher also hiernach aus zwei vereinigt wirkenden Ursachen zu entstehen scheint. Es ist nämlich grade bei der Brechung im Eise der Abstand von der Sonne, in welcher dieser zweite Ring, durch zweimalige Brechung entstanden, sich zeigen muß, für die rothen Strahlen 42° 30′, für die mittleren Strahlen 43° 15′, für die violetten Strahlen 44°, und die Entfernung, wo jener blaue Rand sich zeigen muß, für die violetten Strahlen 43° 40′, für die blauen Strahlen ungefähr 43° 30′; das Blau des letztern mischt sich mit dem Grün des erstern, das Blau des erstern mit dem Violett des letztern, und grade diese Mischungen scheinen vollkommen geeignet, das schöne Violett, Blau, Grün hervorzubringen, wodurch dieser Ring sich auszeichnet. Genauere Messungen und eine noch schärfere Bestimmung der Farbenzerstreuung im Eise werden zeigen, ob diese Erklärung die richtige ist.

Nebensonnen.

Diese Ringe oder großen Höfe um die Sonne erscheinen selten ohne Nebensonnen, und besonders der innere, so oft erscheinende Ring zeigt gewöhnlich horizontal neben der Sonne oder neben dem Monde zwei Nebensonnen oder zwei Nebenmonde. Sie liegen da, wo der weiße Horizontalkreis den Ring durchschneidet, und sind sehr oft kenntlich, wenn auch der weiße Horizontalkreis selbst nicht deutlich zu sehen ist. Sie zeigen die Farben, die dem innern Ringe eigen sind, etwas lebhafter, und haben gewöhn-

lich einen von der Sonne abwärts sich etwas weiter fort erstrecken= den Schweif. Die Theorie giebt Gründe an, warum sie bei hohem Stande der Sonne oder des Mondes etwas außerhalb des Ringes stehen können, und warum in diesem Falle zuweilen zwei neben einander erscheinen. Nebensonnen auf dem zweiten Ringe, der sich durch schöne Farben auszeichnet, sind nur selten gesehen worden, so wie denn auch dieser Ring selbst selten gesehen wird, und noch weit seltener mit einiger Vollständigkeit erscheint.

Beschreibung der vollkommensten Phänomene dieser Art.

Die bisher beschriebenen Kreise erscheinen allein oder verbunden, und stellen den doch immer noch häufiger vorkommenden Theil des Phänomens dar; sie sind aber nur Theile eines Phänomens, das in seiner ganzen Vollständigkeit höchst selten gesehen wird, doch aber in den nördlichen Gegenden noch am leichtesten hervorzuge= hen scheint. Die Figur (Fig. 106.) stellt es so dar, wie es sich nach den Beschreibungen derer, die es am vollkommensten gesehen haben, zeigt; indeß muß ich bemerken, daß eine Zeichnung auf einer Kugel einen noch genauern Begriff von der wahren Lage der Kreise giebt, als es auf dem Papiere möglich ist. Hier ist a die Sonne, durch welche der horizontale Kreis ayghfx geht, der allemal weiß ist; dcex ist der innere Ring, welcher in seltenen Fällen, so wie er hier gezeichnet ist, doppelt erscheint; wzzzw ist der zweite Ring, der sich allemal mit schöneren Farben als der erste Ring, das Roth innen, zeigt. So weit gehen meine bisherigen Erklärungen, die auch von den Nebensonnen bei x, y, Rechenschaft gegeben haben. Außer diesen minder seltenen Erscheinungen zeigen sich aber bei dem vollkommenen Phänomene noch: 1. zwei Neben= sonnen f, g, von reinem Weiß, deren Stelle auf dem Horizontal= kreise sich ändert, wenn die Sonne höher steigt; und über deren genaue Lage die Beobachter nicht ganz hinreichende Auskunft geben; 2. eine Gegensonne h, der Sonne gegenüber, mit dieser gleich hoch stehend; 3. zwei allemal höchst matt erscheinende Kreise, die durch die Sonne und die Gegensonne gehen, alh, amh, deren Neigung gegen einander und gegen den Horizontalkreis, so weit die unvollkom= menen Beschreibungen es angeben, 60 Grad ist; 4. mehrere Be=

rührungskreise an den höchsten und tiefsten Puncten der Ringe; die Figur zeigt nur zwei **ref** am innern, **pzq** am äußern Ringe, aber auch bei **d** kann ein solcher erscheinen; 5. endlich Berührungskreise, die 60 Grade vom untern Puncte entfernt berühren, wovon bei **xi, yk** Spuren als am innern Kreise berührend, bei **tt, vv** aber größere Bogen, berührend am äußern Kreise gezeichnet sind. Die Figur ist dem gemäß gezeichnet, was **Lowitz 1790 am 29.** Juni in Petersburg beobachtete.

Die Nebensonnen **f, g,** scheinen mir aus einer dritten merkwürdigen Stellung der Prismen erklärt werden zu müssen. Den innern Ring erklärten wir aus den am wirksamsten, als Grenze der kleinsten Brechung im Prisma hervorgehenden Strahlen, den zweiten Ring als theils durch zweimal wiederholte Brechung entstehend, theils aber als derjenigen Grenze entsprechend, wo noch die letzten Strahlen aus dem Prisma zum Auge gelangen, und wo also ein blauer und violetter Rand sich zeigen muß. Die jetzt zu betrachtenden Nebensonnen scheinen nun da zu entstehen, wo die Prismen sich befinden, die uns eine vollkommene Spiegelung aller Sonnenstrahlen zusenden. Wenn die Sonnenstrahlen, von **s** in das Auge **O** (**Fig. 104.**) kommen, von **S, S^{I}, S^{II}, S^{III}** auf die in verschiedenen Lagen sich befindenden Prismen fallen, so ist **A^{I}B^{I}C^{I}** dasjenige Prisma, wo der gebrochene Strahl **a^{I}b^{I}** der Seite **A^{I} B^{I}** parallel ist, und in welchem die kleinste Brechung statt findet; es ist also eines von denen, welche dem Auge **O** den innersten Ring darbieten; hat das Prisma die Lage **ABC** oder **abc,** so kommen die äußersten Strahlen durch Brechung in das Auge **O,** weil **S^{II}e** nur noch an der Seite des Prisma's hinstreift, also der letzte auffallende Strahl für **ACB** ist, und weil **fO** nahe an der Seite des Prisma's **abc** hervorgeht, und also der letzte hervordringende Strahl ist. Diese beiden Prismen senden nur noch die letzten gebrochenen Strahlen nach **O,** und bei der geringsten weitern Fortrückung nach α zu gehen alle Strahlen reflectirt nach **O^{I};** und eben diese reflectirten Strahlen, wo nämlich die auf die Seite **ac** fallenden Strahlen, **aubc** reflectirt nach **o^{I}** kommen, stellen dem Auge in **O** vermittelst des Prisma's $\alpha\beta\gamma$, ein reflectirtes Sonnenbild, das aus der Reflexion aller Strahlen entsteht, dar. Die hiezu erforderliche Lage des Prisma's ist 88 Grad

von der Sonne, wo ungefähr die Nebensonnen f, g, beobachtet worden sind. Ob diese Erklärung ganz ausreicht, das wage ich nicht zu entscheiden; aber sie ist wenigstens bis jetzt die einzige, die einiges Gewicht zu haben scheint, und das silberweiße Ansehen dieser Nebensonnen deutet auf das Entstehen aus der vollkommenen Spiegelung in den Prismen hin*).

Die Erklärung der beiden geneigten Kreise **r h m a, s h l a** muß ohne Zweifel auf eben den Gründen beruhen, wie die Erklärung des weißen Horizontalkreises, also auf Spiegelung in den Schneenadeln. Da nun die Schneenadeln sich immer unter Winkeln von 60 Graden vereinigen, so giebt es an den verticalen Nadeln gewiß unzählige, die unter 60 Grad geneigt sind, und wenn diese oder eine überwiegende Zahl von ihnen eine parallele Lage haben, so müssen solche helle Kreise entstehen. Ihre Seltenheit hängt wohl davon ab, daß nur selten diese parallele Lage statt findet.

Der schwierigste Theil des Phänomens sind die Berührungsbogen, die sich oben und unten an den Ringen zeigen, und auch in 60 Grad Abstand von dem untern Puncte vorkommen. Es ist wieder wohl anzunehmen, daß die Erklärung, welche für die obern und untern Berührungsbogen paßt, auch für die seitwärts liegenden **t t, v v**, passen wird, wenn man auf Nadeln Rücksicht nimmt, die unter einem Winkel von 60 Graden mit denen verbunden sind, welchen jene Bogen ihr Entstehen verdanken. Unter den Eisnadeln, welche das Entstehen des ersten Ringes bewirken, müssen diejenigen, die grade oberhalb oder unterhalb der Sonne liegen, eine horizontale Lage haben; aber unter den horizontalen Prismen sind nicht diese allein es, die wirksame Strahlen zum Auge senden können, sondern wenn in irgend einer Schichte der Atmosphäre viele horizontale Schneenadeln vorhanden sind, so muß sich auch neben dem obern und neben dem untern Theile des ersten

---

*) Um nicht mehr zu behaupten, als sich mit Sicherheit vertheidigen läßt, will ich die Bemerkung beifügen, daß es zweifelhaft bleibt, in welchem Grade hervorglänzend das Licht der so bestimmten Nebensonnen sein könnte, daß aber die genaue Untersuchung dieses aus voller Spiegelung entstehenden Sonnenbildes doch wahrscheinlich zu der Erklärung führen muß, da das Silberweiß dieser Nebensonnen so sehr hiefür spricht.

Ringes eine Licht=Erscheinung von bedeutendem Glanze, ein vom Ringe sich nach außen entfernender sehr glänzender Bogen zeigen. Die Theorie giebt an, daß diese Bogen nicht immer als Kreisbogen erscheinen müssen, und bei künftigen Beobachtungen wird es durch Ausmessung dieser Bogen möglich sein, die Richtigkeit der Theorie zu prüfen. Aehnliche Betrachtungen finden für die Berührungsbogen am zweiten Ringe, die allemal schönfarbig sind und darin dem zweiten Ringe selbst gleichen, statt; die Theorie zeigt, daß sie bei 30 Grad Sonnenhöhe sich besser als bei ganz niedrigem Stande der Sonne zeigen müssen, und bietet daher wieder den Beobachtern Prüfungsmittel, um zu sehen, ob die Erfahrung hiemit übereinstimmt, dar.

Dies sind die, wie ich hoffe, nicht ganz mißlungenen Versuche, diese verwickelte Luft=Erscheinung, wenn sie am meisten regelmäßig sich darstellt, zu erklären; manche einzelne Erscheinungen, wo noch mehr Kreise sich dargestellt haben sollen, wo der starke Glanz der Nebensonnen vielleicht hinreichte, um diese wieder mit ähnlichen Kreisen wie die wahre Sonne zu umgeben, oder wo vielleicht andre Nebenumstände mitwirkten, lassen sich schwerlich schon jetzt völlig erklären, und ich übergehe sie hier um so mehr, da ich ohnehin schon eine Entschuldigung meines langen Verweilens bei einer einzigen Erscheinung nöthig finde*).

---

*) Meine umständlichen theoretischen Untersuchungen über diesen Gegenstand in Gehlers phys. Wörterbuch Art. Hof, darf ich wohl den Beobachtern zur Prüfung empfehlen, indem sie berechnete Zahlen genug enthalten, mit denen die Beobachtungen übereinstimmen müssen, wenn die Theorie richtig ist.

Elfte Vorlesung.

Zu den bisher mitgetheilten Betrachtungen über die Farben habe ich heute noch die Erklärung der Erscheinungen beizufügen, die sich uns bei den Farben der natürlichen Körper darbieten, und die Erscheinungen, die unser Auge in gewissen Fällen da wahrnimmt, wo diese Farbe nicht objectiv vorhanden ist.

Farben der undurchsichtigen Körper.

Daß die Entstehung der Farben ohne die ungleichen Farbenstrahlen des auffallenden Lichtes nicht statt finden könne, das geht wohl schon aus den vorigen Betrachtungen hervor. Der rothe Körper erscheint roth, weil er die rothen Lichtstrahlen zurückwirft, wenig vermischt mit andern Farbenstrahlen, der weiße Körper erscheint weiß, weil er alle Lichtstrahlen in ziemlich gleichem Maaße zurückwirft; und wenn gleich die eigenthümliche Beschaffenheit des einen Körpers ihn fähig macht, die rothen Lichtstrahlen zurück zu geben, während ein andrer für die zerstreute Reflexion der blauen, ein andrer für die zerstreute Reflexion aller Strahlen geeignet ist, so muß es doch in der Beleuchtung rothe Strahlen geben, wenn der Körper, den wir roth zu sehen gewohnt sind, roth erscheinen soll. Diese Behauptung zeigt sich schon in gewöhnlichen Erfahrungen bestätigt, indem weißes Papier dem rothen Lichte glühender Kohlen ausgesetzt roth erscheint u. s. w.; aber es lassen sich noch auffallendere Versuche anstellen, die dies noch mehr beweisen.

Wir haben schon so oft von dem prismatischen Sonnenbilde geredet, das auf einer weißen Tafel aufgefangen das Roth, das Grün, das Blau, auf eben der Tafel, die wir weiß zu sehen gewohnt sind, darstellt; dies läßt sich offenbar in keine andre Erklärung fassen, als in die, daß die Fläche, die als weiß im Sonnenlichte aller Strahlen fast genau gleich gut zurückgiebt, uns da, wo nur rothe Strahlen auf sie fallen, auch nur rothe Strahlen zurückgeben kann, und so für alle Farben. Selbst die im vollen Sonnenlichte blau erscheinende Fläche zeigt sich uns roth, aber mit weniger

Erleuchtung, wenn sie im Roth des prismatischen Sonnenbildes liegt; sie warf nämlich im vollen Sonnenlichte vorzüglich die blauen Lichtstrahlen zurück, und nur sehr wenige andre Strahlen, die wir zum Beispiel am blauen Seidenzeuge als den Spiegelglanz der Oberfläche darbietend beobachten, wurden ebenfalls von ihr zurückgegeben; daher kann sie da, wo die blauen Lichtstrahlen ganz fehlen, uns nur als sehr wenig Licht gebend erscheinen, und wo nur rothe Strahlen auffallen, da wird dieses wenige Licht rothes Licht sein.

Am auffallendsten sehen wir, wie die Farben der Körper von der Erleuchtung abhängig sind, bei der Erleuchtung durch Lampenlicht. Ich habe schon neulich erwähnt, daß ein mit Küchensalz eingeriebener Docht in der Weingeistlampe brennend eine Flamme giebt, die durch das Prisma gar kein Roth, kein Grün, kein Blau und auch nur wenig Violett zeigt. Wendet man diese Lampe zur Beleuchtung an, so erscheint jeder rein rothe Körper fast ganz schwarz; nur etwas von gelblicher Färbung, die in das Schwarz etwas Braun mischt, bemerkt man, weil die meisten Körper doch etwas gemischtes Licht, besonders von glatten Oberflächen, zurückwerfen. Die gelben Körper erscheinen gelb, sind aber von den weißen nicht gut zu unterscheiden; ein Roth, das im Tageslichte auch nur wenig zum Gelb hinzuneigen scheint, ist jetzt nur gelb, nicht mehr roth. Helles Grün, helles Blau, und so alle Farben, die noch viele weiße Lichtstrahlen mit zurückgeben, erscheinen gelblich grau. — Die Erscheinungen sind so auffallend, daß es sehr der Mühe werth ist, sie selbst zu sehen, um sich von dem Einflusse dieses beinahe einfarbigen gelben Lichtes zu überzeugen.

Man hat Mittel aufgesucht, um die Menge des farbigen Lichtes, welches die Körper, der eine mehr der andre minder, zurückwerfen, zu bestimmen. Lambert hat dazu ein höchst einfaches Experiment vorgeschlagen, wodurch ziemlich gut bestimmt wird, ob ein weißer Körper eben so viel rothes Licht als Siegellack oder ein andrer rother Körper zurückwirft. Er legte nämlich das Siegellack neben weißes Papier in ganz gleicher Beleuchtung, betrachtete das Papier durch das Prisma, und beobachtete, ob der rothe Rand des weißen Papiers dem mit bloßem Auge gesehenen Roth des Siegellacks gleich erschien; war das nicht der Fall, so mußte ein minder weißes

Papier gewählt werden, wenn der rothe Rand schöner, glänzender roth, als das Siegellack erschien; und so konnte man ein Weiß auffinden, das ungefähr eben so geschickt zur Zurückwerfung aller Strahlen war, als das Siegellack zur Zurückwerfung des Roth. Statt Lamberts übriger Versuche, die zusammengesetzter sind, scheint mir für einen, immer doch nur oberflächlich zu erreichenden Zweck folgender Versuch zu genügen. Man lege Papiere vom schönsten Weiß, von unvollkommnerem Weiß, und von einigen Abstufungen eines lichteren und dunkleren Grau bereit, und lege eines derselben im dunkeln Zimmer so neben den zu untersuchenden Körper, daß das prismatische Sonnenbild auf beide möglichst gleich falle. Läßt man nun den rothen Strahl auf Siegellack und Papier zugleich fallen, so wird man erkennen, ob beide gleich erscheinen, und unter den Papieren das angemessene auswählen, von welchem man dann mit gutem Grunde sagen wird, daß die Weiße dieses Papieres der Röthe des Siegellacks gleich sei, das ist, daß das Papier von allen Lichtstrahlen eine verhältnißmäßig ebenso große Menge, wie das Siegellack von den rothen zurückgebe. So könnte man ein grünes Blatt in Beziehung auf gelb, grün und blau prüfen, welcher Weiße es im gelben, welcher im grünen, welcher im blauen Strahle gleich sei. Ja man könnte sogar, da doch selbst das Siegellack auch einige andre Farbenstrahlen zurückwirft, nach der Quantität der von demselben herkommenden grünen Strahlen fragen, würde aber dann ein sehr dunkles graues Papier wählen müssen, um den beinahe gänzlichen Lichtmangel zu erhalten, den das rothe Siegellack im grünen Strahle zeigen würde.

Farben durchsichtiger Körper.

Eine andre merkwürdige Betrachtung bieten die durchsichtigen farbigen Körper dar. Auch hier lassen wir die schwierige Frage bei Seite, welche Ursache bei dem einen Körper ein Durchlassen gelben Lichtes, bei dem andern ein Durchlassen blauen Lichtes hervorbringt, sondern halten uns nur an die Erscheinungen selbst, und diese scheinen eine Eintheilung dieser Körper in zwei Classen zu fordern. Es giebt einige Körper, zum Beispiel gelbes Glas, die uns das durchgelassene Licht und das reflectirte Licht ziemlich nahe gleichfarbig

darstellen, statt daß andre Körper eine andre Farbe durchlassen und eine andre zurückwerfen. Bei jenen müssen wir wohl annehmen, daß sie die übrigen Farben ebenso größtentheils ganz aufheben, wie es bei den undurchsichtigen Körpern mit den sämmtlichen Lichtstrahlen statt zu finden scheint, die nicht reflectirt werden; das gelbe Glas absorbirt fast alle andern Strahlen, wirft von seiner hintern Oberfläche, oder auch von seinen einzelnen Theilchen gelbe Lichtstrahlen zurück und läßt die übrigen gelben Strahlen durch; die an der Vorderfläche spiegelnd reflectirten Strahlen sind weiß, indem auf sie der Körper noch nicht einwirkt. Die zweite Classe von Körpern absorbirt allerdings auch Lichtstrahlen, absorbirt auch wohl einige mehr als die andern, aber hat doch dabei die besondre Eigenschaft, gewisse Farbenstrahlen durchzulassen, und die übrigen zurückzuwerfen. Das weiße Knochenglas ist ein solcher Körper; es läßt vorzüglich nur die tief rothen Strahlen durch und die allermeisten andern reflectirt es, so daß dieser Körper blaulich weiß erscheint, wenn das Licht auf ihn fällt, — weiß, weil so viele Farbenstrahlen gemischt reflectirt werden, blaulich weiß, weil die rothen, durchgelassenen Strahlen in der Mischung dieser Farben fehlen und daher das Blau darin überwiegend wird. Wenn man weiße Körper oder Körper, in deren Färbung Roth ist, durch diese Glas-Art ansieht, so erscheinen sie roth; blaue und grüne Körper dagegen erscheinen beinahe schwarz, so daß man deutlich an der geringen übrig bleibenden Färbung von Blau oder Grün sieht, daß diese Farbenstrahlen sehr unvollkommen durchgelassen werden. Eben diese Eigenschaft zeigen auch manche flüssige Körper, indem zum Beispiel Milch, wenn die Schichte dünne genug ist, um noch durchsichtig zu sein, ziemlich eben die Erscheinungen wie jene Glas-Art darstellt. Auffallender noch ist diese Scheidung der ungleichfarbigen Strahlen bei einem Wasser, das einige Zeit aus Stücken von Rinde des wilden Castanienbaumes die Säfte ausgezogen hat. Dieses Wasser sieht schmutzig gelbbraun aus, wenn man es so gegen das Licht hält, daß die Strahlen durchgehen; dagegen wenn man das Licht auf die Oberfläche so fallen läßt, daß man nicht den Spiegelglanz des Sonnenbildes erhält, sondern die Oberfläche ganz als erleuchtet, als durch zerstreute Lichtstrahlen sich hell zeigend, sieht, erscheint diese blau oder violettlichblau, so daß man sieht, die am meisten brech-

baren Strahlen werden hier reflectirt, die am wenigsten brechbaren großentheils durchgelassen.

Wie es sich mit diesem Durchlassen nur gewisser Farbenstrahlen verhält, davon giebt die genaue Beobachtung des prismatischen Bildes einer Lichtflamme, wenn man diese durch blaues Glas betrachtet, ein schönes Beispiel. Am besten bedient man sich hiebei des schon mehrmals erwähnten mit Kochsalz eingeriebenen Dochtes, den man in einer Weingeistlampe anwendet. Diese Flamme, — die man, wenn sie zu breit ist, durch eine schmale Oeffnung betrachten muß, — diese schmale Flamme zeigt, wenn man sie durch das Prisma besieht, zwei Farbenbilder, eine lebhaft glänzende gelbe Flamme und eine davon getrennte, matte violette Flamme. Hält man nun, indem man immer diese prismatischen Bilder im Auge behält, eine blaue Glasplatte vor das Auge, so nimmt die gelbe Flamme stark an Glanz ab, die violette Flamme dagegen wird wenig geschwächt, bringt man noch eine zweite, eine dritte blaue Glasplatte an, so verschwindet die gelbe Flamme fast gänzlich, die schwache violette aber bleibt übrig, und zeigt sich nun allein fast noch eben so deutlich als ohne Glas. Die gelben Strahlen sind fast gänzlich unterdrückt, die violetten fast gar nicht geschwächt worden, weil das blaue Glas sie durchläßt.

Einige Körper lassen, wie ich auch schon früher erwähnt habe, zwei weit von einander entfernt liegende Farbenstrahlen durch, und zeigen sich daher ungleich, je nachdem ihre Schichte dicker oder dünner ist. Nach Herschels Bemerkung läßt eine Auflösung von Saftgrün die grünen Strahlen in mäßiger Menge, die dunkelrothen dagegen sehr wenig geschwächt durch, und es entsteht daraus die Sonderbarkeit, daß eine dicke Schichte Saftgrün das durchgelassene Licht dunkelroth zeigt, statt daß eine dünne Schichte grün erscheint. Im Sonnenlichte sind nur wenig jener dunkelrothen Strahlen, aber viele grüne, daher durch eine dünne Schichte, wenn auch jene rothen alle durchgehen und von diesen grünen nur ein mäßiger Antheil, doch die grünen noch vorherrschend bleiben; in einer dickern Schichte wird die unvollkommene Durchlassung der grünen immer merklicher und die rothen werden endlich, obgleich ihrer wenigere waren, überwiegend, weil sie beinahe ohne Verlust durchgehen. Es läßt sich dies in Zahlen nachweisen. Wären 10 grüne Strah-

len gegen 1 rothen im Sonnenlichte, von jenen aber würde bei 1 Linie Dicke nur die Hälfte, bei 2 Linien Dicke nur $\frac{1}{4}$, bei 3 Linien Dicke nur $\frac{1}{8}$, bei 4 Linien nur $\frac{1}{16}$, bei 5 Linien nur $\frac{1}{32}$ durchgelassen, so wären $\frac{10}{32}$ bei 5 Linien Dicke der Ausdruck für die 10 Strahlen grünen Lichts; das rothe, wenn es ganz ungeschwächt durchginge, bliebe dagegen immer = 1, also hier schon überwiegend.

Die merkwürdige Eigenschaft einiger Körper, ein doppeltes Farbenspiel darzustellen, muß ich hiebei noch erwähnen. Der Opal und einige andre Körper, selbst Mischungen von Flüssigkeiten, zeigen als zurückgeworfenes Licht ein Blau, ein blauliches Weiß und ein Orange, das eine bei der einen, das andre bei der andern Stellung hervortretend. Auch hier scheint mir die Zurückwerfung des blauen Lichtes und die Durchlassung des gelblichen die Ursache der Erscheinung zu sein. Indem nämlich die durch den Körper durchgegangenen Strahlen an seiner Hinterfläche zurückgeworfen werden, kommen sie als orangefarben zu dem an der erleuchteten Seite stehenden Auge zurück, und es mögen hiezu bei den Steinen die Reflexionen an den einzelnen Schichten noch mehr als die an der äußersten Hinterfläche beitragen, wodurch dann der geringe Grad von Durchsichtigkeit zugleich auch erklärlich ist.

Das Blau des Himmels und die Abendröthe.

Diese Betrachtungen über die ungleiche Färbung durchgelasse- ner und zurückgeworfener Strahlen enthalten, wie es mir scheint, einen vollkommenen Aufschluß über die Ursache, warum der Himmel blau, die Abendröthe orangefarben erscheint. Unsre Atmosphäre ist aus Luft und aus Wasserdämpfen in sehr ungleichem wechselndem Verhältnisse gemischt, und die Eigenschaften beider Mischungstheile in Beziehung auf das Licht müssen wir näher untersuchen. Wenn die Dünste sich so sichtbar niedergeschlagen haben, daß sie sich dem Auge als Nebel oder als Wolken zeigen, so bemerken wir nicht, daß eine Art von Farbenstrahlen mehr als die andre durchgelassen oder mehr als die andre zurückgeworfen werde; eine Nebelmasse sieht weiß aus, wenn die Sonne darauf scheint, die von der Sonne stark erhellten Wolken erscheinen mit schönem weißen Glanze, dagegen sehen die Wolken grau aus, wo sie von schwächerem Lichte

getroffen werden, und die grauen Schattirungen der an einer Seite von der Sonne beleuchteten, bergig aufgethürmten Wolken zeigen uns ihre beschatteten Theile abstechend gegen die von der Sonne erleuchteten. Aber auch die durchgelassenen Strahlen sind rein weiß, indem bekanntlich die durch einen dicken Herbstnebel durchblickende Sonne völlig silberweiß erscheint. Ebenso zeigen sich uns die leichten Wolken silberweiß, wenn die Sonne sie erleuchtet, und auch die von ihnen bedeckte Sonne zeigt sich nicht farbig. — Anders ist es mit dem Rauche, der von der Sonne beschienen blau erscheint, und uns die Sonne roth zeigt, wenn wir sie durch den Rauch sehen; der Rauch läßt die gelben und rothen Strahlen durch und reflectirt die blauen. — Trockne Nebel haben einiges mit dem Rauche gemein.

Die reine Luft scheint dagegen die Eigenschaft zu haben, daß sie die mehr brechbaren Strahlen, die zusammen Blau darstellen, besser zurückwirft, die weniger brechbaren, die in ihrer Mischung Orange geben, vorzugsweise durchläßt. Diese Eigenschaft erklärt das Blau des Himmels und das Roth der Abendröthe. Wenn die Luft mit Dünsten, die sich schon niederschlagen, gefüllt ist, so ist der Himmel weißlich, weil von diesen Dünsten weiße Lichtstrahlen zurückgeworfen werden, die sich mit dem Blau der in der Luft, gleichsam an jedem Lufttheilchen reflectirten Strahlen mischen; zu solchen Zeiten ist auch die Abendröthe weißlich, hellgelb, weil die durchgelassenen Strahlen zwar zum Theil ihres Blau beraubt sind, aber die Erfüllung mit Dünsten kein sehr ungleiches Verhältniß der Farben in den durchgelassenen Strahlen zuläßt; — die Sonne geht dann nicht roth, sondern weißlich gelb unter. Bei recht dunstfreier Luft dagegen ist der Himmel dunkelblau, weil die Luft überhaupt nicht sehr viele Strahlen zurückwirft, und fast nur blaue und violette Strahlen; auf hohen Bergen ist dieses Blau immer dunkler, offenbar weil die Luft dort zu dünne ist, um noch viel Licht zu reflectiren, und man kann also mit Recht schließen, daß nur die Luft die Ursache dieses zurückgeworfenen Lichtes ist, daß also in noch viel größern Höhen der Himmel ganz schwarz, von gar keinem Lichte erhellt oder keines zurückstrahlend, erscheinen müßte. Daß am Tage, bei hohem Stande der Sonne diese uns weiß erscheint, obgleich die Strahlen bei ihrem Durchgange durch

die Atmosphäre etwas blaues Licht verlohren haben, ist wohl nicht auffallend, da doch immer ein, gegen das gesammte Sonnenlicht, nur kleiner Antheil blauen Lichtes verlohren gegangen ist, also auch nur ein wenig merklicher Ueberfluß gelben Lichtes vorhanden sein kann. Am Abend aber beim Untergange der Sonne und am Morgen beim Aufgange der Sonne geht der Strahl so weit durch dichtere Luftschichten fort, daß er einen bei der starken Schwächung des Lichtes sehr merklichen Ueberschuß an gelben und rothen Strahlen enthalten muß; daher erscheint uns dann die Sonne roth und auch die doch nie fehlenden Dünste zeigen sich roth oder orangefarben erleuchtet, der ganze Horizont glänzt in der Abendröthe. Stehen Wolken am Horizonte, so sind einige weißgelblich, andre orangefarben, andre dunkelroth glänzend; die ersteren sind die am höchsten stehenden, die, wenn die Sonne tiefer unter den Horizont hinabsinkt, sich ebenfalls röthen, die aber, so lange sie die Strahlen noch nicht durch die tiefsten Luftschichten erhalten, noch von minder rothen Strahlen erleuchtet werden. Zuweilen stehen mitten zwischen den glänzenden Wolken dunkle, blaue Wolken; — von diesen kann man wohl immer annehmen, daß sie im Schatten von Wolken, zuweilen von Wolken, die unter unserm Horizonte sind, stehen, und bei genauer Aufmerksamkeit sieht man in manchen Fällen, daß dieser Schatten bei tieferem Sinken der Sonne auf andre Wolken übergeht. Das dunkle Blau dieser Wolken muß daher rühren, daß sie das wenige Licht, welches sie zurücksenden, nur dem Blau des Himmels verdanken, indem keine directe Sonnenstrahlen auf sie fallen. Sind am Horizonte Wolken, dick genug, daß ihr eigner Schatten die Erleuchtung an der uns zugekehrten Seite hindert, so sehen wir sie dunkel mit rothem, purpurfarbenem Rande. Sehen wir die Berge im Glanze des Abendrothes, so erscheinen sie entweder völlig roth, wenn sie uns sonst weiß erschienen wären, oder violettlich, wenn ihr natürliches Blau sich mit dem Roth der Abendröthe mischt; blau nämlich würden sie erscheinen, weil an der der Sonne gegenüber oder seitwärts liegenden Seite doch immer noch die zwischen dem Auge und dem Berge liegende Luft unter den von allen Seiten, vom blauen Himmel her, sie treffenden Strahlen, die blauen am besten zurückwirft, und daher der roth erleuchtete Berg gleichsam hinter einem blauen Schleier liegt.

Ich will nicht grade die Behauptung wagen, daß in diesen Betrachtungen eine für jeden einzelnen Fall und für jede einzelne Erscheinung der Morgenröthe und Abendröthe genügende Erklärung liegt; aber ich glaube doch gewiß zu sein, daß man im Wesentlichen diese Erklärungen bei genauer Aufmerksamkeit auf die Erscheinungen sehr genügend finden wird.

Die Dämmerung.

Auch die Erscheinungen der Dämmerung lassen sich ganz nach diesen Grundsätzen erklären. Wenn an einem heitern Abend die Sonne untergegangen ist, so zeigt sich bald am östlichen Horizonte ein dunkelblauer bogenförmig begrenzter Raum, über welchem sich der Himmel etwas röthlich, höher hinauf weiß, endlich gegen das Zenith blau zeigt. Jener dunkle Kreis-Abschnitt entsteht durch den Schatten, welchen die Erde auf die Atmosphäre wirft; weil keine Sonnenstrahlen mehr auf diese Gegend der Luft gelangen, so zeigen sich die Dünste und die Luft selbst sehr schwach erleuchtet, und blau erleuchtet, weil auch der lebhaftere Theil der Abendröthe in jener Gegend der Atmosphäre schon untergegangen ist, also das Blau der in höhern Luftgegenden zurückgeworfenen Strahlen dort noch am meisten zu der schwachen Erleuchtung beiträgt. Der röthliche Bogen über dem Dunkel bezeichnet die Gegend, wo das lebhafte Abendroth noch genug in der unteren Luft befindliche Dünste trifft, um sie durch rothe Erleuchtung kenntlich zu machen; das Weiß, welches diesen Bogen umgiebt, gehört einer Gegend an, wo das von der reineren oberen Luft reflectirte Blau der Sonnenstrahlen selbst sich mit dem von den Dünsten zurückgeworfenen Roth der Abendröthestrahlen vermischt, und so dem Auge ein aus allen Farbenstrahlen gemischtes Weiß darstellt; am Zenith endlich ist der Himmel blau, weil unsre Gesichtslinie durch zu wenige rothgefärbte Dünste geht, um uns durch ihre reflectirten Strahlen eine das Blau ganz aufhebende weiße Mischung zu zeigen. Ungefähr ebenso verhält es sich am westlichen Himmel, wo ebenfalls das Orange der Abendröthe einige Zeit nach Sonnen-Untergang einen Uebergang durch Weiß zum Blau, das am Zenith sich noch zeigt, darstellt. Die Dünste nämlich, die sich in der nach diesem Weiß hin gezogenen Gesichtslinie befinden, geben die rothen Strahlen theils der

Sonne selbst, theils der Abendröthe zurück, und die höheren reineren Luftschichten würden für sich allein sich blau zeigen, sie gewähren uns daher ebenfalls eine Mischung aller Farben, und darum ist der Uebergang vom Orange zum Blau hier gewöhnlich ein ziemlich reines Weiß. —

Subjective Farben-Erscheinungen.

Alle bisher betrachteten Farben-Erscheinungen zeigten sich uns so, daß wir sie als objectiv, als aus einer Erleuchtung durch farbige Strahlen entstehend, erklären konnten; aber dieses ist bei manchen andern Erscheinungen nicht der Fall, sondern diese zeigen sich uns da, wo kein äußerer Grund dazu da zu sein scheint. Die einfachsten dieser Erscheinungen bestehen darin, daß ein Theil einer überall gleich erleuchteten weißen Fläche uns heller vorkömmt, wenn er neben einem beschatteten Theile liegt, uns grünlich vorkömmt, wenn er neben einer rothen Färbung liegt, u. s. w.

Wenn wir anhaltend und mit einiger Anstrengung des Auges auf einen schwarzen Kreis oder eine andre schwarze nicht zu ausgedehnte Fläche sehen, die auf weißem Grunde liegt, so bemerken wir, sobald wir das Auge ein wenig von jenem, scharf ins Auge gefaßten Gegenstande auf die daneben liegenden weißen Flächentheile wenden, daß diese uns etwas glänzender weiß scheinen, als die entfernteren; und umgekehrt, wenn ein weißer Kreis auf grauem Grunde liegend mit Anstrengung des Auges angesehen wird, so bemerkt man, daß das Grau in seiner Nähe dunkler erscheint. Wenn man ein gegen den hellen Himmel gehendes Fenster lange, bis zu einiger Ermüdung des Auges, ansieht und dann das Auge schließt, so sieht man im geschlossenen Auge noch ein Bild des Fensters, in welchem aber umgekehrt die Scheiben dunkler, die Einfassungen heller erscheinen; ist das Auge sehr reitzbar, so kann dieses falsche Bild im Auge sich auch vor dem offenen Auge, wenn man auf eine matt erhellte Fläche sieht, darstellen. Diese Erscheinung hat in der Blendung und dem Ueberreitze, der durch helleres Licht auf einige Theile der Netzhaut ausgeübt worden, ihren Grund; diese Theile nämlich, die bei gleichmäßigem starren Hinblicken den stärkern Lichtreitz empfunden haben, sind abgestumpfter, als die zunächst benachbarten; während daher diese durch die vom Grau ausgehenden Lichtstrahlen

noch lebhaft gerührt werden, erhalten jene durch eben solche Lichtstrahlen eine schwächere Empfindung und die Flächentheile, deren Bild auf die mehr gereitzte Stelle fällt, erscheinen uns dunkel. Im Gegentheil, die Theile der Netzhaut, die sich bei dem Blicke auf das Schwarz ausgeruht haben, werden lebhafter von den Strahlen des Weiß oder Grau gereitzt, und geben uns die Empfindung eines lebhafteren Eindrucks, eines glänzenderen Weißes, eines helleren Grau. Daß wir, nachdem wir in die untergehende Sonne gesehen haben, runde Schattenbilder vor unserm Auge schweben sehen, ist bekannt und hat eben den Grund; der dunkeln runden Bilder sind gewöhnlich viele, ohne Zweifel weil wir die Sonne nicht gut mit der Stetigkeit ansehen können, daß nur ein immer gleicher Theil der Netzhaut gerührt würde.

Hiemit verwandt sind manche Farben-Erscheinungen. Wenn man eine Stange recht schön rothes Siegellack auf ein von der Sonne hell erleuchtetes weißes Papier legt, so zeigt sich, wenn man das Siegellack unverwandt ansieht und dann das Auge auf das umgebende Weiß des Papieres wirft, dieses nahe am Siegellack sehr schön blaßgrün. Dieselbe Erscheinung zeigt sich als eine blaue Umgebung, wenn der Gegenstand gelb oder orange war, als eine blaßrothe, wenn er grün war, oder allgemein, es zeigt sich dem Auge auf dem umgebenden Weiß die Ergänzungsfarbe jenes farbigen Körpers. Die Erklärung ist zwar etwas schwieriger, als bei dem Schwarz und Weiß, aber doch dieser sehr nahe verwandt. Wir sehen nämlich, daß das Auge abgestumpft wird für den Eindruck der rothen Strahlen, wenn diese anhaltend und mit lebhaftem Glanze einen bestimmten Theil der Netzhaut treffen; fällt nun auf eben den Theil der Netzhaut ein Bild eines weißen Körpers, so machen die aus dem Weiß hervorgehenden blauen, grünen, gelben Strahlen den gewöhnlichen, die rothen Strahlen einen schwächern Eindruck, und das Grün, welches aus der Mischung der erstern entspringt, zeigt sich überwiegend in dem Bilde, welches eigentlich weiß sein sollte; ein sehr helles Grün aber muß sich zeigen, weil es sich nur in dem Maaße mit dem Weiß gemischt zeigt, als der schwächere Eindruck des Roth das Grün vorherrschend macht, indem ja der Eindruck des Roth keinesweges ganz fehlt. Von Göthe hat dies etwas anders erklärt, indem er eine Gegenwirkung des

Auges annimmt, eine eigene Art von Lebensthätigkeit, die einen Gegensatz nach zu starkem Reitze hervorbringt und hier beim Sehen einen Gegensatz, der auf unser Bewußtsein so wirkt, wie es die Ergänzungsfarbe in andern Fällen als objective Farbe thut. Diese Erklärung, die mit andern Erscheinungen der Lebensthätigkeit zusammenstimmt, hat sehr viel für sich; sie scheint mir indeß die vorige nicht aufzuheben, sondern man kann gar wohl annehmen, daß die nach optischen Gesetzen aus dem Weiß hervorgehende Ergänzungsfarbe den Eindruck unterstützt, den jener sich durch eine entgegengesetzte Thätigkeit wieder herstellende natürliche Zustand des Organs bewirkt. Diese entgegengesetzte Thätigkeit scheint darum nicht geleugnet werden zu können, weil man Farben-Erscheinungen im Hinblicken auf einen dunkeln Grund nach sehr ähnlichen Gesetzen sieht.

Aehnliche Erscheinungen kommen manche vor. Die schon vorhin erwähnten Schattenbilder der Sonne sind, wenn man sie genau betrachtet, blau oder purpurfarben, so wie es die Ergänzungsfarbe der orangefarben untergehenden Sonne fordert, und das Bild der Lichtflamme im geschlossenen Auge, das nach langem Hinsehen auf die Lichtflamme bemerkt wird, gehört gleichfalls hieher.

Eine andre hiermit verwandte Erscheinung ist das Doppelbild bei der Spiegelung in einer gefärbten, unbelegten Glasplatte, wo nämlich der dunkle Körper neben einer weißen Fläche in dem Bilde, welches von der Spiegelung an der Hinterseite der Glasplatte ausgeht, am Rande die Ergänzungsfarbe zu der des gefärbten Glases zeigt. Stellt (Fig. 107.) **AB** eine gelbe Glasplatte, **DE** einen dunkeln Gegenstand, **O** das Auge vor, so wissen Sie, daß sich dem Auge zwei Bilder des dunkeln Gegenstandes zeigen, eines durch die zwischen **d** und **e** zurückgeworfenen Strahlen an der Vorderseite des Glases, ein zweites durch die zwischen d^1 und e^1 an der Hinterseite zurückgeworfenen Strahlen. Das Auge **O** erhält aber von **fg** her reflectirte Strahlen, die von **FG** ausgehen, also sieht es auf dem zweiten Bilde des dunkeln Gegenstandes das Bild des weißen Himmels, wenn von **FG** Strahlen des weißen Himmels herkommen. Da wir annehmen, daß der dunkle Gegenstand in **D** und **E** begrenzt ist, so kommen aus der Gegend **h** reflectirte Strahlen des hellen Himmels zum Auge, und diese sind gelb, weil

sie das Glas zweimal durchlaufen haben; daneben kommen von g k rein weiße Strahlen zum Auge, aber diese erscheinen nun nicht weiß, sondern, um es kurz auszudrücken, durch den Contrast blau, weil das überall nur Gelb sehende Auge in dem hier rein hervorgehenden Weiß das Blau als überwiegend erkennt.

Farbige Schatten.

Ganz diesen Erscheinungen entsprechend sind dann auch die farbigen Schatten, die durch farbiges Licht von der einen Seite und weißes Licht von der andern Seite hervorgebracht zu werden pflegen. Diese, oft sehr schöne Erscheinung ist bekannt genug. Wenn wir bei anfangender Dämmerung uns mit einem brennenden Lichte an das Fenster setzen, so sehen wir auf weißem Grunde einen doppelten Schatten aller Gegenstände, einen, den die Lichtflamme giebt und einen, den das Tageslicht giebt; aber diese Schatten, die uns jeder einzeln grau vorkommen würden, in denen wir, beim bloßen Tageslichte so wohl als beim bloßen Kerzenlichte, nur eine schwächere Erleuchtung erkennen würden, zeigen sich jetzt schön gefärbt, gelb oder orangefarben der eine, blau der andre. Ueber den ersten geben wir uns leicht Auskunft. Wir sagen nämlich, da das Kerzenlicht bekanntlich viel Gelb und Roth enthält, derjenige Raum aber, wohin kein Tageslicht fällt, nur von diesem Kerzenlichte erleuchtet ist, so muß der dem Tageslichte gegenüberliegende, bloß vom Kerzenlichte erleuchtete Schatten gelb oder orangefarben, oder roth beim Kohlenfeuer, erscheinen. Was den dem Kerzenlichte gegenüber liegenden Schatten betrifft, so sollte er hiernach weiß erscheinen, denn das noch übrige Tageslicht erhellt diesen in Beziehung auf die Lichtflamme beschatteten Raum; gleichwohl erscheint uns dieser Schatten blau, weil das Auge, gereitzt durch die gelbe Erleuchtung der ganzen von der Flamme beschienenen Fläche, im Weiß mehr durch die blauen als durch die gelben Strahlen eine Empfindung der Farbe erhält. Die unbeschattete weiße Fläche nämlich hat wegen des gelben Kerzenlichtes eine gelbliche Färbung, die wir, weil alles Weiß, so wie wir es dann sehen, eben die Beimischung von Gelb hat, nur wenig bemerken; der gegen die Flamme beschattete Theil hat dagegen rein weißes Licht, und der Contrast thut sich uns in dem Anschein von Blau dar; die von dieser

rein weißen Fläche ausgehenden Strahlen üben mit dem in ihnen enthaltenen Antheil von Blau auf das von allen Seiten durch das Gelb für diese Farbe abgestumpfte, für das Gelb gleichsam geblendete, Auge einen vorwaltenden Einfluß aus und die rein weiße Erleuchtung erscheint blau, neben dem Gelben.

Die Richtigkeit dieser Erklärung geht aus mehreren leicht anzustellenden Versuchen hervor. Wenn man einen größeren beschatteten Raum, der mit freiem Auge betrachtet schön blau erscheint, durch ein enges Rohr so ansieht, daß von seinen Grenzen und von der umgebenden erhellten Fläche gar kein Licht in das Auge kömmt, so verschwindet der Anschein von Blau, der sich sogleich wieder herstellt, wenn man die erleuchtete Fläche und die beschattete abwechselnd betrachtet oder zugleich ins Auge faßt. Ferner, man kann die Erleuchtung vom Kerzenlichte als blau erscheinend erhalten, wenn man eine noch mehr gelbe oder noch mehr orangefarbene Erleuchtung daneben hat. Um dies zu zeigen, stellt man zwei gleiche Lichtflammen zur Beleuchtung einer weißen Papierfläche auf, läßt einen schmalen Körper seine beiden Schatten werfen und bringt nun zwischen die eine Flamme und den durch sie erleuchteten Schatten ein gelbes Glas; sogleich wird dieser Schatten als gelb hervortreten und der andre sich in einigem Grade blau gefärbt zeigen, aus Gründen, die im Vorigen enthalten sind. Sieht man durch ein gelbes Glas den mit weißen Wolken bedeckten Himmel an, und hält das Auge so, daß es zugleich einen Theil des Himmels neben dem Glase vorbei sieht, so ist dieser blaulich; ein rothes Glas würde dem frei gesehenen Himmel eine grüne Färbung geben u. s. w.

So wie in den meisten Fällen blaue Schatten als der Erleuchtung durch das Tageslicht entsprechend erscheinen, so kann es auch grüne und rothe Schatten geben. Wenn ein lebhaft grün gefärbtes Haus von der Sonne beschienen, ein helles Licht in das Fenster wirft, während von einer andern Seite weißes Tageslicht herein scheint, so ist der von jenem grünen Lichte erleuchtete Schatten grün, der vom Tageslichte erleuchtete hellroth. Noch besser zeigt sich dies, wenn das Sonnenlicht durch grüne Vorhänge einfällt, und von einer andern Seite her weißes Tageslicht einfällt; dann sind alle die weißen Körper, die gegen das grüne Licht beschattet sind, hell röthlich unter dem Einflusse des weißen Lichtes.

Andre physiologische und pathologische Farben-Erscheinungen.

Die farbigen Erscheinungen, die sich uns bei geschlossenem Auge zeigen, gehören zum Theil gewiß auch in die Reihe dieser Farbengegensätze. Wenn wir auf eine sehr erhellte grüne Fläche gesehen haben, so zeigt sich vor dem geschlossenen Auge eine ähnliche Figur in violetter Färbung, die sich mit einem mehr oder minder lebhaften grünen Rande umgiebt. Auch die Wechsel, die in diesen Farben vorgehen, gehören gewiß hieher, und sie eben sind es, die vorzüglich auf eine lebendige Gegenwirkung des Auges, welche sich in dem Entstehen dieser Ergänzungsfarben zeigt, hindeuten.

Als krankhafte Eigenthümlichkeit mancher Augen aber muß ich noch die Unsicherheit einiger Menschen im Unterscheiden der Farben erwähnen. Sie besteht darin, daß sie, bei sonst vollkommen deutlichem Sehen aller Gegenstände, selbst bei der reinsten Beleuchtung, wo andre Menschen gar keine Schwierigkeit finden, dunkelblau und hellroth, grün und braun, zu unterscheiden, diese Farben für ganz gleich erkennen. Die Fälle, deren man viele gesammelt hat, sind nicht alle übereinstimmend, indem der eine dunkelblau und hellroth nicht unterscheiden konnte, während er dunkleres Roth als eine ganz andre Farbe anerkannte, der andre hellgrün mit hellroth und tieferes Grün mit dunkelm Roth für einerlei hielt, und so weiter. Aus dieser Ungleichheit scheint zu erhellen, daß von Göthe's Meinung, daß dieser Augenfehler in einer Akyanoblepsie, in einer Unfähigkeit das Blau zu erkennen, bestehe, nicht auf alle Fälle passe; indeß ist die genaue Bestimmung jener Eindrücke schwer, und wenn es auch nicht immer das Blau ist, was in dem Farbenkreise fehlt, so ist doch von Göthe's Ansicht, daß eine Unfähigkeit des Sehenerven, von gewissen Farbenstrahlen afficirt zu werden, der Grund des Uebels sei, nicht unwahrscheinlich. Uebrigens läßt sich wohl hoffen, daß über die Farbenreihe, die solche Augen zu unterscheiden vermögen, vielleicht noch irgend eine allgemeinere Regel aufgefunden werden kann *).

*) Vgl. v. Göthe zur Farbenlehre I. und Gehlers Wörterbuch. Art. Gesicht. S. 1423.

Zwölfte Vorlesung.

Die große Reihe von Erscheinungen, m. h. H., womit ich Sie bisher unterhalten habe, gewährt uns eine schon sehr umfassende Kenntniß von den Gesetzen, nach welchen das Licht seine Wirkungen äußert; und obgleich noch sehr merkwürdige Erscheinungen übrig sind, so ist es doch wohl angemessen, hier einmal still zu stehen, und die Versuche, die man gemacht hat, um die bisher betrachteten Phänomene aus einer über die Natur des Lichtes angenommenen Hypothese zu erklären, einer genauern Prüfung zu unterwerfen.

Zwei Hypothesen sind es vorzüglich, die man zu diesem Zwecke aufgestellt hat, die Emissionstheorie und die Undulationstheorie. Die erstere ist vorzüglich von Newton ausgebildet und in der neuesten Zeit von Biot und dem jüngern Herschel so weit, als es für jetzt möglich scheint, auf alle Erscheinungen angewandt worden. Die zweite ist von Huyghens schon mit vielem Scharfsinn durchgeführt, von Euler vertheidigt und in neuern Zeiten aus Gründen, die später vorkommen, von Young, Poisson, Fresnel, Fraunhofer weiter ausgebildet worden. Ich werde heute nur von jener reden.

Die Emissionstheorie.

Der Hauptgedanke in der Emissionstheorie ist der allerdings am natürlichsten scheinende, daß die Lichtmaterie, die wir uns als aus kleinen Körpertheilchen bestehend denken, von den selbstleuchtenden Körpern ausgehe, daß diese Lichttheilchen durch eine unbekannte Kraft fortgetrieben in graden Linien den Weltraum durcheilen, und unser Auge treffend uns die Empfindung des Lichtes gewähren. Daß wir die Ursache der so großen, fast unermeßlichen Geschwindigkeit des Lichtes nicht kennen, ist gegen diese Ansicht kein erheblicher Einwurf, da uns über die ersten Ursachen auch andrer Erscheinungen gleiche Dunkelheiten übrig bleiben. Aber bedeutender

hat man den Einwurf gefunden, daß diese seit Jahrtausenden von der Sonne ausgehenden Lichttheilchen die Masse derselben müßten vermindert haben, und daß die von irdischen Körpern, vorzüglich von den undurchsichtigen und das Licht wenig zurückwerfenden Körpern aufgefangenen und gleichsam absorbirten Lichtstrahlen Veränderungen in diesen hervorbringen müßten, die wir gleichwohl nicht wahrnehmen. Diesen Einwürfen läßt sich die ungemeine Feinheit der Lichttheilchen entgegensetzen, und die Vermuthung, daß nur wenige Körper (denn einige leiden eine Veränderung durch das Licht,) fähig sind, durch diese feine Materie verändert zu werden. Von der großen Feinheit dieser Theilchen können wir den überzeugendsten Beweis darin finden, daß die alle Vorstellung übersteigende Schnelligkeit der Lichttheilchen doch nirgends einen mechanischen Effect weder auf andre Körper noch auch auf unser so zartes Auge hervorbringt; nach den Principien der Mechanik kann dies nur bei einer unermeßlichen Feinheit der so schnell bewegten Theilchen statt finden. Ein andrer Einwurf, der aber auf eine ähnliche Art auch die zweite Hypothese trifft, ist der, daß diese zahllosen, schnell fortbewegten Lichttheilchen den Weltraum in einigem Grade erfüllen, und einen Widerstand für die Bewegung der Himmelskörper hervorbringen, vor allem aber durch ihr Zusammentreffen ihre Bewegung gegenseitig stören müßten. Diesen Einwurf räumt einigermaßen die Voraussetzung, daß die Lichttheilchen nur in sehr weiten Zwischenräumen sich einander folgen, weg; denn allerdings dauert der Licht-Eindruck in unserm Auge so lange, daß wenn auch nur in jeder Viertelsecunde ein neues Lichttheilchen ankäme, uns keine Unterbrechung merkbar werden würde, und es könnten folglich die Lichttheilchen um zehntausend Meilen von einander entfernt sein. Daß aber diese längere Dauer des Licht-Eindruckes statt finde, davon überzeugt uns der bekannte Versuch, wo man einen leuchtenden oder glänzenden Körper im Kreise herumschwingt und den ganzen Kreis leuchtend sieht, obgleich der leuchtende Körper doch in jedem Augenblicke nur von einem bestimmten Puncte her Licht aussendet.

Erklärung der gradlinigen Fortpflanzung des Lichts.

Der grade Fortgang der Lichtstrahlen versteht sich nach dieser Hypothese von selbst, indem, so lange der Fortgang in einem ganz

gleichförmigen Medio statt findet, kein Grund zu irgend einer Abweichung von der graden Linie vorhanden ist. Die mit der größer werdenden Entfernung abnehmende Erleuchtung ist ebenfalls leicht zu erklären; denn da diese Erleuchtung ohne Zweifel durch Lichttheilchen, die von den erleuchteten Körpern zurückgesandt werden, uns kenntlich wird, so hängt sie gradezu von der Zahl der antreffenden Lichttheilchen ab, deren Menge im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernungen abnimmt, und zugleich auf die oben angegebene Weise vom Einfallswinkel abhängt.

Auch die Aberration des Lichtes ist dieser Hypothese angemessen, indem sich uns die Einwirkung des Lichtes nach den Gesetzen der Zusammensetzung der Bewegung darstellen muß, wenn wir die bewegten Lichttheilchen auf der bewegten Erde wahrnehmen; wir müssen unser Fernrohr in die Stellung bringen, die der relativen Bewegung des Lichttheilchens gegen die Erde gemäß ist, grade so, wie die Beobachtung der Aberration es zeigt.

Die Frage, wie die Lichttheilchen die durchsichtigen Körper durchdringen, hat man gewöhnlich als etwas schwer zu beantworten angesehen, das aber ist sie wohl nicht; denn bei der unendlichen Feinheit und bei der sehr großen Geschwindigkeit des Lichtes mag es wohl selbst durch die härtesten durchsichtigen Körper mit eben der Leichtigkeit durchdringen, wie ein größerer und langsam bewegter Körper durch die Luft. Durchsichtigkeit bestände also darin, daß die Lichttheilchen leicht sich eine Bahn durch den Körper machten, und undurchsichtige Körper wären die, in deren Structur der Fortgang des Lichtes Hindernisse findet, durch welche es seine Bewegung verliert. Dabei ist das wenigstens gewiß, daß Körper, deren Structur deutlich geschichtet, faserig, oder sonst von Zwischenräumen unterbrochen ist, sich allemal undurchsichtig zeigen, und daß Gleichförmigkeit der Dichtigkeit selbst in den kleinsten Theilen, so wie sie bei flüssigen Körpern in hohem Grade statt findet, die Durchsichtigkeit befördert; daher wird Papier mit Wasser getränkt durchscheinend und mit Oel getränkt noch mehr durchsichtig, weil die Einwirkung des Oeles auf die Lichttheilchen noch näher der Einwirkung der Papiertheilchen gleich sein muß. An den Grenzen ungleich auf das Licht wirkender Körper wird das Licht reflectirt und zerstreut, also im Innern der Körper ganz und gar unwirksam.

Gesetze der Brechung nach dieser Theorie.

Da die Brechung des Lichtes so sehr genügend von Newton erklärt ist, so will ich diese hier eher als die Zurückwerfung abhandeln, um so mehr, da die Einwürfe gegen die Erklärung der letztern dadurch verständlicher werden. Nach Newton's Meinung üben alle Körper auf die Lichttheilchen eine anziehende Kraft aus, und da diese ungleich stark ist nach der Dichtigkeit und sonstigen Verschiedenheit der Körper, so muß auch die Aenderung der Richtung des Lichtstrahls, das ist die Brechung, verschieden sein. Um hier die höchst genügende Reihe der Schlüsse Newton's zu entwickeln, muß ich auf einige Lehrsätze der Mechanik zurückgehen.

So lange das Lichttheilchen in einer gleichartigen Materie fortgeht, wird es von allen Seiten gleich angezogen, es ist daher kein Grund da, warum es von seiner graden Richtung abweichen sollte. Nähert sich das Lichttheilchen einem dichteren oder das Licht mehr anziehenden Körper, und ist die Trennungsfläche beider Körper eine Ebne, die sich weiter als die Wirkungssphäre der Körpertheilchen erstreckt, so übt dieser Körper eine auf die Trennungsfläche senkrechte Kraft aus, weil die Anziehung seitwärts, als nach allen Seiten gleich, sich aufhebt. Da, wie wir sogleich sehen werden, die Einwirkung auf die Lichttheilchen in sehr enge Grenzen, viel enger, als daß wir die Ausdehnung derselben sinnlich wahrnehmen könnten, eingeschlossen ist, so reicht selbst die geringste Ausdehnung der Trennungs-Ebne zu, um bis über die Grenzen jener Wirkungssphäre zu reichen, und bei Körpern, die durch krumme Oberflächen begrenzt sind, betrachtet man mit allem Rechte die Berührungsfläche an dem Puncte, wo der Lichtstrahl auftrifft, als diejenige Ebne, gegen welche hier die Anziehungskraft des Körpers senkrecht ist, weil die von ihr abweichenden Puncte der Oberfläche schon außerhalb der Wirkungssphäre der Theilchen liegen. Die ganze Einwirkung des unter CD liegenden Körpers (Fig. 108.) auf das nach der Richtung EF heran kommende Lichttheilchen ist also ganz derjenigen ähnlich, welche die Schwerkraft auf einen schief gegen die Erde zu geworfenen Körper ausübt. Wäre diese Einwirkung auf eine bedeutende Entfernung merklich, so müßte der Weg des Lichtes EGH allmählig gekrümmt sein, und erst da wieder in

eine grade Richtung übergehen, wo das Theilchen tief genug in den Körper CDH eingedrungen ist, um von allen Seiten gleiche Wirkung zu erleiden. Hier zeigt nun die Mechanik, daß das Theilchen, wenn es mit einer bestimmten Geschwindigkeit ankam, bei dem Eindringen in den stärker anziehenden Körper eine größere und zwar eine nur von der Natur des Körpers CDH abhängende Geschwindigkeit erlangt, die nicht von dem Winkel, unter welchem das Theilchen auftrifft, abhängt; und aus diesem fest begründeten Satze der Mechanik geht es als nothwendige Folgerung hervor, daß der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels bei allen Richtungen des Strahls ein gleiches Verhältniß behalten muß, wenn die Körper, aus welchem und in welchen der Strahl übergeht, dieselben bleiben. Dieser Satz ist leicht zu erweisen. Offenbar nämlich wird der Fortgang des Lichttheilchens nach einer mit der Oberfläche CD parallelen Richtung durch die anziehende Kraft weder befördert noch gehindert, und wenn der Lichtstrahl in einer bestimmten Zeit von I nach K kam vor dem Eintritte und von K nach L nach dem Eintritte, so ist IN = LM; daraus aber ergiebt sich sogleich, daß für KP = IK das Verhältniß der Senkrechten IN, PQ immer gleich ist für alle Einfallswinkel, weil das Verhältniß der Geschwindigkeiten IK, KL, nicht von dem Einfallswinkel abhängt. Ich kann nun auch wohl, ohne unverständlich zu sein, hinzufügen: das Verhältniß dieser Senkrechten IN PQ, (die, wenn sie zu gleichen Entfernungen KI, KP, gehören, Sinus der Winkel IKN, PKQ, heißen,) ist mit dem umgekehrten Verhältniß der Geschwindigkeiten oder der in gleichen Zeiten durchlaufenen Räume KL, IK, einerlei. In Beziehung auf die hier gemachten hypothetischen Voraussetzungen sagen wir also, in einer Glas-Art, wo die Sinus des Einfallswinkels und des Brechungswinkels wie 1 zu $\frac{2}{3}$ beim Eindringen oder wie 1 zu $1\frac{1}{2}$ beim Hervordringen in den leeren Raum sich verhalten, da ist die Geschwindigkeit des Lichtes $1\frac{1}{2}$ mal so groß im Glase als im luftleeren Raume, und diese roße Vermehrung der Geschwindigkeit des Lichtes wird im Eindringen so schnell hervorgebracht und beim Herausdringen so schnell wieder zerstört, daß unsre Sinne den Raum, in welchem diese Veränderung als allmählig eintretend vorgeht, durchaus nicht wahrnehmen können. Daß aber die

im Glase erlangte Geschwindigkeit nach dem Hervordringen des Lichttheilchens auch völlig wieder zerstört ist, wenn das Licht in den luftleeren Raum übergeht, aus welchem es kam, das ist wohl leicht zu übersehen, da die Attraction genau so verzögernd beim Austritte, wie beschleunigend beim Eintritte, wirken muß.

Bei dieser Betrachtung bietet sich uns auch eine genauere Bestimmung dessen dar, was wir hier im strengen Sinne brechende Kraft nennen sollen. Die Mechanik lehrt, daß die anziehende Kraft, die hier mit der Brechungskraft des Körpers einerlei ist, dem Unterschiede der Quadrate der Geschwindigkeiten proportional ist; wir werden daher für Glas, wenn 1 zu $1\frac{1}{2}$ das Verhältniß der Geschwindigkeiten im luftleeren Raume und im Glase ist, die Brechungskraft $= \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} - 1$ oder $\frac{9}{4} - 1 = \frac{5}{4}$ finden; für Wasser, wo ich das Brechungsverhältniß 1 zu $\frac{3}{4}$, die Geschwindigkeit wie $\frac{4}{3}$ zu 1 setze, ist die Kraft $\frac{4}{3} \cdot \frac{4}{3} - 1 = \frac{7}{9}$, und so würde man in allen Fällen rechnen. Genauere Bestimmungen ergeben die Brechungskraft beim Diamant $= 5,1$, beim Sapphir $= 2,2$, beim Flintglase $= 1,69$, beim Tafelglase $= 1,53$, beim engl. Kronglase $= 1,37$, beim Oliven-Oel $= 1,16$, beim Wasser $= 0,78$.

An diese Berechnung der Brechungskraft hat schon Newton eine wichtige Bemerkung geknüpft. Im Allgemeinen steigt, wie sich erwarten läßt, die Brechungskraft mit der Dichtigkeit, so daß zum Beispiel die Dichtigkeit des Flintglases und Kronglases sich wie 1,69 zu 1,15, die Brechungskraft, wie 1,69 zu 1,37, verhalten; die Dichtigkeit des Sapphirs zur Dichtigkeit des Kronglases wie 2,2 zu 1,38, die Brechungskraft 2,2 zu 1,37 ist, u. s. w.; aber die brennbaren Körper machen hiervon eine höchst auffallende Ausnahme, so daß sie eine viel stärkere Brechungskraft haben, als ihre Dichtigkeit zu fordern scheint. Der Diamant ist nicht so dicht als Flintglas und hat eine dreimal so große Brechungskraft als dieses; der Sapphir ist bedeutend schwerer als der Diamant, und doch hat dieser eine $2\frac{1}{4}$ mal so große Brechungskraft; Oliven-Oel ist so leicht, daß Kronglas als $2\frac{3}{4}$ mal so dicht kann angegeben werden, und doch steht die Brechungskraft des Oliven-Oeles der des Kronglases nicht viel nach. Indeß auch bei

andern Körpern hängt diese Brechungskraft nicht so bestimmt von der Dichtigkeit ab, und es erhellt, daß auch hier die mannigfaltigsten Verschiedenheiten, ungleiche Verwandtschaften der Körper zum Lichte, statt finden mögen. Nimmt man auf die geringe Dichtigkeit des Phosphors Rücksicht, so steht er in dem Maaße seiner Brechungskraft noch über dem Diamant, auch der Schwefel geht diesem letztern noch voran; nach dem Diamant folgen die Dele, Harze, Campher; Wasser und Salzsäure, welche Hydrogen enthalten, stehen vor den Sauerstofffäuren, den Glas=Arten, den Edelsteinen u. s. w.

Ich kehre zu der Theorie der Brechung zurück, die uns noch über eine andre, Ihnen schon bekannte Erscheinung vollkommenen Aufschluß giebt. Sie erinnern sich der Umstände, wo an der Rückseite des Glases die Brechung in Zurückwerfung überging, wo z. B. im Prisma sich alle Gegenstände im vollsten Glanze gespiegelt zeigten; die Theorie führt auf diesen Fall als auf eine nothwendige Folgerung. Obgleich die Brechung so plötzlich erfolgt, daß die Krümmung des Lichtstrahls, durch welche der Uebergang aus der Richtung vor der Brechung in die Richtung nach der Brechung statt findet, ganz unmerklich ist, so wird es mir doch erlaubt sein, die unmerkliche kleine Krümmung, gleichsam stark vergrößert gesehen, so darzustellen, daß ich den aus dem Glase **A F G L** hervordringenden Strahl (**Fig. 109.**) **A B**, als bei **B** allmählig der mindern Anziehung der Luft unterworfen, bei **C** aus dem Glase hervordringend, bei **D** die ganze Wirkungssphäre des Glases verlassend, und nun nach der graden Linie **D E** in der Luft fortgehend, zeichne. Bei dem wirklich in die Luft hervordringenden Strahle wird durch die zurückziehende Kraft des Glases **A F G** die Geschwindigkeit vermindert und die Richtung des Strahles der Richtung der Oberfläche **F G** näher gebracht; aber wenn der Strahl unter einer solchen Neigung wie **I H** sich der Oberfläche nähert, so läßt sich leicht übersehen, daß der Strahl in der Gegend **K** schon alle gegen die Oberfläche zu gerichtete Geschwindigkeit kann verlohren haben, und daß, wenn dort seine Richtung mit **F G** parallel geworden ist, ehe das Lichttheilchen die Wirkungssphäre des dichteren Körpers verlassen hat, nun die anziehende Kraft des Glases das Lichttheilchen nöthigen wird, eine Bahn der **I H K** ganz ähnlich nach **K L M** zu

durchlaufen. Für unsre Beobachtung ist der ganze Theil **HKL** der Bahn des Lichttheilchens, als ein unmittelbar an der Oberfläche liegender Punct anzusehen, und der Lichtstrahl zeigt sich uns, als unter eben dem Winkel reflectirt, unter welchem er ankommend die Oberfläche erreicht hatte.

Diese vollkommene Reflexion kann eigentlich, wenn wir die Betrachtung so auf eine, weit über die Schärfe der Sinne hinausgehende Weise anstellen, in zwei verschiedenen Fällen statt finden, indem jener Punct **K**, wo der Rückgang gegen das Innere des dichtern Körpers anfängt, entweder noch innerhalb des dichtern Körpers, oder auch so nahe außerhalb desselben in **K** liegen kann, daß er noch in der Wirkungssphäre des dichteren Körpers sich befindet. In beiden Fällen ist die vollkommene Zurückwerfung gleich gut vorhanden; aber nur in dem ersteren Falle läßt sich die interessante Anwendung von dieser Betrachtung machen, die **Wollaston** davon angegeben hat, bei der ich einen Augenblick verweilen will.

Sie haben im Vorigen gesehen, daß wir Mittel haben, für feste und flüssige durchsichtige Körper das Brechungsverhältniß und folglich die Brechungskraft zu finden, und daß dieses sogar für so zerstückelte durchsichtige Körper, von denen man keine erhebliche Stücke erhalten kann, gelang; aber an die Bestimmung der Brechung in undurchsichtigen Körpern scheint es, dürfe man gar nicht denken; — gleichwohl bietet sich uns hier ein Weg dazu dar. Gesetzt der Körper **FGE**, (Fig. 109.) der eine viel geringere Brechungskraft als **AFG** hat, wäre undurchsichtig, so könnte noch immer die Anziehungskraft des durchsichtigen Körpers **AFG**, in Vergleichung gegen die schwächere Anziehungskraft des undurchsichtigen, bewirken, daß das Lichttheilchen die Bahn **IKM** durchliefe, und wenn diese sich ganz innerhalb des durchsichtigen Körpers befände, so würde man die Zurückwerfung wahrnehmen können, statt daß beim Eindringen in den undurchsichtigen Körper alle weitere Wahrnehmung aufhören würde. Die Beobachtung, wie klein der Winkel **IHB** werden muß, damit diese Reflexion einzutreten anfange, giebt also auf eine der Hauptsache nach leicht zu übersehende Weise die Größe der Brechungskraft des undurchsichtigen Körpers. Diese Bestimmung ist freilich nur da anwendbar, wo die Brechungskraft des undurchsichtigen Körpers nicht zu groß ist, und

daher kann man bei Metallen und andern Körpern, die eine große Brechungskraft zu besitzen scheinen, keinen Gebrauch davon machen; aber einige Anwendungen finden doch statt. Malus hat dies am Wachs gezeigt, dessen Brechungskraft man im flüssigen Zustande, wo es durchsichtig ist, untersuchen kann, und das man auch erhärtet, als undurchsichtigen Körper, an die Hinterseite des Prisma's anbringen, und nun den Winkel, bei welchem die volle Reflexion anfängt, beobachten kann. Berechnet man aus dem letztern Versuche die Brechungskraft des undurchsichtigen Wachses, so findet man sie von der des flüssigen nur soviel, als die etwas veränderte Dichtigkeit fordert, verschieden.

Zurückwerfung des Lichtes. Ungleiche Zustände der Lichttheilchen.

Von diesen so schönen Folgerungen aus der bei der Brechung statt findenden Anziehung der Körper auf die Lichttheilchen gehe ich zur Erklärung der Zurückwerfung der Lichtstrahlen an den Spiegeln über, die nicht so einfach, als der Emissionstheorie entsprechend, nachgewiesen werden kann. Zwar hat man sich oft genug begnügt, die feinen Lichttheilchen als den Gesetzen der Elasticität gemäß von der vollkommen ebenen Oberfläche des Spiegels zurückgeworfen darzustellen; aber diese Vorstellung thut nicht einmal der Spiegelung auf der Vorderfläche des harten oder dichteren Körpers Genüge, und noch weit weniger der Spiegelung an der Hinterfläche, wo sie doch immer wenigstens im schwachen Grade statt findet. Selbst für die Vorderfläche nämlich findet der wichtige Einwurf statt, daß wir aus andern Gründen genöthigt sind, die Lichttheilchen so fein anzunehmen, daß die Politur unsrer Spiegel dagegen, als immer noch große Unebenheiten darbietend, anzusehen ist. Daß aber jedes Hineintreffen zwischen die Theile der Vorderfläche ein Zerstreuen der Lichtstrahlen bewirken müsse, ein Abweichen von dem genauen Gesetze der Zurückwerfung an einer geometrisch vollkommenen Ebene, das ist wohl klar genug. Wahr ist es freilich, daß selbst der schönste Spiegel nicht alles Licht zurückwirft, daß nur wenig über die Hälfte den Gesetzen der Reflexion folgt, und alles übrige also theils zerstreut zurückgeworfen wird, theils in den festen Körper eindringt und verlohren geht; aber es scheint dennoch, daß

die Unvollkommenheit der Spiegelfläche noch größere Unregelmäßigkeit bewirken müßte. Newton hat daher nöthig gefunden, den Körpern auch eine an ihren Oberflächen wirksame Reflexionskraft oder zurückstoßende Kraft beizulegen, und wenn man die Wirkungssphäre dieser als die Größe der Unebenheiten der Oberfläche übertreffend ansieht, so bildet die Grenze der Wirkungssphären **ABC** (Fig. 110.) oder der um **a, b, c, d, e, f, g,** gezogenen Kreise eine mehr der Ebene nahe kommende Fläche, als die feste Oberfläche **afbcgde** selbst. Diese zurückstoßende Kraft raubt den sich nähernden Lichttheilchen ihre gegen die Ebene der Oberfläche **AB** senkrechte Geschwindigkeit (Fig. 111.); da aber dabei die mit der Ebne **AB** parallele Geschwindigkeit ungeändert bleibt, und das in **D** angekommene Theilchen, nachdem es alle gegen **AB** zu gerichtete Geschwindigkeit verlohren hat, eine von **AB** abwärts gehende Geschwindigkeit nach eben denselben Gesetzen wieder erlangt, wie jene verlohren war, so muß **DE** unter eben dem Winkel wie **CD** gegen **AB** geneigt sein.

Aber obgleich niemand zweifeln kann, daß eine solche Abstoßungskraft die Gesetze der Spiegelung vollkommen erkläre, so hat man doch gegen die Voraussetzung, daß eine solche Kraft hier wirksam sei, den wichtigen Einwurf gemacht, es sei nicht wohl denkbar, daß in eben der Gegend, wo eine Anziehungskraft der Körper auf die der Refraction unterworfenen Lichttheilchen statt finde, eine Abstoßungskraft auf die der Reflexion unterworfenen Lichttheilchen anzunehmen sei, und ferner es erhelle nicht, warum einige Lichttheilchen zurückgeworfen werden, andre aber ihren Weg fortsetzen. Dem letzten Einwurfe weicht Newton durch eine, hier noch nicht ganz begründete, aus andern Erscheinungen aber einen höhern Grad von Wahrscheinlichkeit erhaltende Voraussetzung aus, indem er die Lichttheilchen als einem wechselnden Zustande unterworfen ansieht, vermöge dessen dasselbe Lichttheilchen bald zu einer leichtern Zurückwerfung geeignet, bald einer leichteren Durchlassung durch die jene zwei ungleichen Körper trennende Oberfläche fähig ist. Die Gründe, die für diese Abwechselungen, für diese Anwandlungen, leichtern Durchgangs und leichterer Zurückwerfung sprechen, werde ich später anführen; hier genügt es, zu bemerken, daß die Zurückwerfung einiger Lichtstrahlen, die

Durchlassung anderer allerdings statt finden kann, wenn eine solche ungleiche Einwirkung der Kräfte angenommen wird. Ohne eben mit einer Vergleichung etwas Reelles aussprechen zu wollen, mag wenigstens als Vergleichung ein Beispiel von Magnetnadeln hergenommen werden, die mit schneller Bewegung gegen den Nordpol eines Magnetes geworfen, gewiß ihre Geschwindigkeit in sehr ungleichem Maaße verlieren würden, indem die Nadeln, deren Nordpol dem Nordpole des großen Magnetes zugewandt wäre, einer zurückstoßenden Kraft, die deren Südpol zugewandt wäre, einer anziehenden Kraft unterworfen sein würden. Wir würden demnach die an irgend eine Oberfläche antreffenden Theilchen als in allen verschiedenen Phasen der Anwandelungen (das heißt in allen verschiedenen Zuständen, welche den Uebergang von der leichtesten Zurückwerfbarkeit bis zu der größten Fähigkeit durchgelassen zu werden, in den andern Körper einzudringen, darstellen,) antreffend ansehen müssen, und dann würden am leichtesten diejenigen Theilchen zurückgeworfen werden, die sich in dem Zustande der leichtesten Zurückwerfung befinden; diese würden, selbst bei senkrechtem Auftreffen auf die Trennungsfläche beider Körper, ihre ganze Geschwindigkeit durch die abstoßende Kraft des Körpers verlieren und eine neue abwärts gerichtete Geschwindigkeit erhalten, so daß sie selbst in diesem Falle eine theilweise Zurückwerfung des Strahles ergäben. Wenn der Einfallswinkel sich vom rechten Winkel entfernt, so ist die senkrecht gegen die Oberfläche gerichtete Geschwindigkeit desto geringer, je näher die Richtung des Strahles mit der Richtung der Oberfläche übereinstimmt; je mehr dies der Fall ist, desto leichter wird die abstoßende Kraft diese gegen die Oberfläche senkrechte Geschwindigkeit zerstören, desto mehr werden also auch diejenigen Theilchen, die weniger leicht zurückgeworfen werden, die in einem Zustande sind, der sie weniger den abstoßenden Kräften unterworfen macht, sich mit den zurückgeworfenen vereinigen, und es wird das eintreten, was sehr bekannte Erfahrungen lehren, daß bei schief einfallenden Strahlen die durch Spiegelung zurückgehenden Strahlen immer zahlreicher werden. Diese Schlüsse gelten auf ähnliche Weise da, wo der Lichtstrahl aus einem dünnern Körper in einen dichtern übergeht, wie da, wo er den dichtern verläßt, um wieder in einen dünneren überzugehen.

Diese auf das Licht einwirkenden Kräfte scheinen an der Oberfläche zweier Körper in abwechselnden Schichten wirksam zu sein, so daß das Theilchen vielleicht einem abwechselnden Wirken beider Kräfte unterworfen ist. Die anziehende Kraft muß bei dem Eintritt in dichtere Körper am frühesten auf den Lichtstrahl wirken, indem selbst von denjenigen Lichtstrahlen, die den allerkleinsten Winkel mit der Brechungs-Ebne, mit der Ebne, wo beide Körper an einander grenzen, machen, selbst von den Lichtstrahlen also deren gegen diese Ebne gerichtete Geschwindigkeit leicht völlig zu zerstören ist, dennoch immer einige Theilchen in den dichteren Körper eindringen; wäre in Beziehung auf diese die abstoßende Kraft die zuerst oder bis zu größern Fernen einwirkende, so würden sie gar nicht in den Wirkungskreis der anziehenden Kräfte gelangen.

Merkwürdig ist hiebei die Erfahrung, daß diese anziehenden und abstoßenden Kräfte in einer so genauen Uebereinstimmung stehen, daß da, wo beim Uebergange aus einem Körper in den andern die Brechung geringe ist, auch die Zurückwerfung geringe ist, und wo jene ganz aufhört, auch diese in den meisten Fällen ganz verschwindet; indeß macht Brewster die Bemerkung, daß dieses gänzliche Verschwinden der zurückgeworfenen Strahlen, wenigstens in einigen Fällen, wo doch die Brechung vollkommen aufhörte, oder wo die anziehenden Kräfte sich als völlig gleich bei beiden Körpern zeigten, nicht im strengsten Sinne statt fand.

Ungleiche Einwirkung auf die verschiedenen Farbenstrahlen.

Die verschiedene Brechbarkeit der einzelnen Farbenstrahlen erklärt sich hier aus der ungleichen Gewalt, mit welcher die anziehende Kraft der Körper auf die verschiedenen Lichttheilchen, die unserm Auge den Eindruck einer verschiedenen Farbe geben, wirkt. Die Lichttheilchen, die unserm Auge das Violett darstellen, werden in allen Fällen am stärksten angezogen, da wo der Uebergang in einen, das Licht stärker anziehenden Körper statt findet, und der am stärksten gebrochene Strahl zeigt sich uns daher als violett; die Theilchen, die den Eindruck des Blau, Grün, Gelb, Orange, Roth geben, sind, je näher sie dem Roth stehen, desto weniger einer starken Anziehung unterworfen, und da es eine Abstufung,

eine stetige Folge dieser Theilchen giebt, so breitet der Strahl sich in die stetige Folge ungleich gebrochener Strahlen aus, die wir durch die Versuche kennen lernen. Die Verwandtschaft der einzelnen Körper gegen die eine und gegen die andre Art der Lichttheilchen ist nicht in übereinstimmendem Maaße ungleich, daher ist die Farbenzerstreuung, selbst bei gleicher Brechung der mittleren Farbenstrahlen, bei verschiedenen Körpern ungleich, daher ist nicht in jedem prismatischen Farbenbilde die Ausdehnung einer bestimmten Farbe gleich im Verhältniß des ganzen Farbenbildes, sondern es finden die Ungleichheiten in der Farbenzerstreuung statt, die ich schon früher erwähnt habe.

Bei der Zurückwerfung findet keine Farbenzerstreuung statt. Denn obgleich es wohl nicht zu bezweifeln ist, daß wegen eben dieser ungleichen Einwirkung der anziehenden und abstoßenden Kräfte auf die verschiedenartigen Lichttheilchen, der Weg der zurückgeworfenen violetten Theilchen ein andrer, als der Weg des rothen Lichtes ist, so sind diese Wege doch nur in dem unmerklich kleinen Raume, so weit die Wirkungssphäre jener Kräfte sich erstreckt, etwa so wie **CDE, CdE, (Fig. 111.)** verschieden, und nach vollendeter Einwirkung ist für die einen wie für die andern, die Neigung des zurückgeworfenen Strahles so groß, wie für den einfallenden Strahl, und alle Farbenstrahlen gehen parallel fort, vereinigen ihre Wirkung auf unser Auge und stellen uns also ein Weiß dar. Nur da, wo bei dem Hervorgehen aus einem das Licht stärker brechenden Körper einige Farbenstrahlen schon die vollständige Reflexion erleiden, während andre noch in den anliegenden Körper übergehen, muß die Färbung des Spiegelbildes statt finden, die wir früher kennen gelernt haben.

Größe der hier wirkenden Kräfte.

Mit welcher Gewalt aber diese Kräfte auf die Lichttheilchen wirken müssen, das übersteigt allerdings ganz und gar unsre Vorstellungen. Das Licht, welches im leeren Raume eine Geschwindigkeit von **41000** Meilen in **1** Secunde hat, verliert diese an der Spiegelfläche gänzlich und erlangt die eben so große Geschwindigkeit rückwärts gehend wieder, und dies während es einen Raum, der an Kleinheit als unmeßbar erscheint, durchläuft. Und ebenso

erlangt das Licht im Glase in so kurzem Uebergange, in einer Schichte, deren Dicke uns als völlig verschwindend erscheint, eine $1\frac{1}{2}$ mal so große Geschwindigkeit, welche beim Wiederhervortreten eben so schnell wieder verlohren geht. Aber wenn uns diese unendlich scheinende Wirksamkeit der Kräfte als unglaublich vorkömmt, so nöthigt uns doch die uns bekannte mächtige Einwirkung der chemischen Kräfte auf die Körper zu dem Geständnisse, daß auch diese den festesten Zusammenhang der Theilchen überwindenden Kräfte uns ebenso unbegreiflich sind, daß wir viel zu wenig diese, gleichsam das innere Wesen der Körper betreffenden, Einwirkungen zu erkennen im Stande sind, und daher vom Erstaunen über die mächtigen Wirkungen nicht zu schnell zum Zweifel, ob es solche Kräfte geben könne, übergehen dürfen.

Dreizehnte Vorlesung.

Die Undulationstheorie.

Obgleich die Hypothese, womit ich Sie, m. h. H., neulich unterhalten habe, für die bis jetzt näher angegebenen Lichtphänomene eine in vieler Hinsicht sehr befriedigende Erklärung darbot, so hat doch schon Newton's scharfsinniger Zeitgenosse Huyghens eine zweite Hypothese aufgestellt und ihre Uebereinstimmung mit den Erscheinungen gründlich darzuthun gesucht. Diese Theorie, die man die Undulations = oder Vibrationstheorie genannt hat, schließt sich an die Uebereinstimmung, die zwischen dem Schalle und dem Lichte statt findet, an, und gründet ihre Schlüsse auf die Gesetze der Vibrationsbewegung. Es ist wahr, daß man bei der oberflächlichen Beobachtung des Schalles gar wohl an eine Emissionstheorie des Schalles denken, von Schalltheilchen, die mit erheblicher Geschwindigkeit von dem schallenden Körper ausgehend unser Ohr erreichen, die beim Echo zurückgeworfen werden, reden könnte; und die Ueberzeugung, daß man diese, vielen Schein

für sich habende Hypothese doch ganz aufgeben müßte, führt offenbar die Frage herbei, ob nicht unsre Vertheidigung der Emissionstheorie des Lichtes auf einer ebenso fehlerhaften Ansicht beruhe. —

Fortpflanzung der Undulationen im Aether. Lichtwellen.

Die Undulationstheorie geht davon aus, eine den ganzen Weltraum erfüllende feine Materie, die man Aether genannt hat, anzunehmen. Diese muß freilich so fein sein, daß der Widerstand, welchen sie der Bewegung der Planeten entgegensetzt, als unmerklich kann angesehen werden, weil die Beobachtungen nicht gestatten, einen für diese erheblichen Widerstand anzunehmen; indeß ist wohl einiger Grund da, um einen die weniger dichten Cometen etwas in ihrem Laufe aufhaltenden, und die Zurückbeugung ihres Schweifes vermehrenden Widerstand vorauszusetzen, so daß das Dasein eines solchen, wenn gleich überaus dünnen Aethers eher etwas für als gegen sich hat. Indem wir nun die Entstehung der Licht-Erscheinungen aus Vibrationen oder Undulationen dieses Aethers, den Vibrationen der Lufttheilchen beim Schalle entsprechend, erklären wollen, müssen wir dem Aether einen sehr hohen Grad von Elasticität beilegen. Sie erinnern sich nämlich, daß wir schon bei der Fortpflanzung des Schalles die Folgerung theoretisch begründet fanden, daß die Geschwindigkeit des Schalles in irgend einer Luft-Art desto größer sei, je größer die Elasticität dieser Luft-Art in Vergleichung gegen ihre Dichtigkeit ist; und die so sehr große Geschwindigkeit des Lichtes kann daher nur aus einem noch viel höhern Grade von Elasticität des Aethers hervorgehen. Werden nun die Licht-Erscheinungen durch Vibrationen der selbstleuchtenden Körper hervorgebracht, so werden diese Schwingungen durch den Aether ebenso, wie die Schallvibrationen durch die Luft fortgepflanzt und gelangen so zu unserm Auge. Was die unaufhörlich gleichförmigen Zitterungen bei den selbstleuchtenden Körpern hervorbringt, das zu bestimmen, können wir wohl als außer den Grenzen unsrer Forschungen liegend ansehen; das aber erhellt wenigstens, daß hier von keinem Verluste an Bestandtheilen für den leuchtenden Körper und von keinem Zuführen neuer Theilchen für den Licht empfangenden Körper die Rede ist; sondern jenem wird

nur eine ursprüngliche, diesem, sofern er sich als erleuchtet zeigt, eine durch die Aetherschwingungen mitgetheilte Vibration zuzuschreiben sein.

Bei den Schallschwingungen fanden wir, daß stärkere und schwächere Vibrationen sich gleich schnell fortpflanzen, daß aber die Verschiedenheit, welche wir Höhe und Tiefe der Töne nennen, von der Schnelligkeit der Wiederholung gleicher Vibrationen abhängt; auf ähnliche Weise haben wir hier allen Grund, die Geschwindigkeit des Lichtes für jede stärkere oder schwächere Licht-Erscheinung und für alle Farbenstrahlen als gleich anzusehen, die Verschiedenheit der Farben aber erklärt sich durch die mit mehr oder minderer Schnelligkeit auf einander folgenden Lichtwellen. Wenn wir bei den Tönen nach der Länge einer Welle gefragt hätten, so würden wir den Wellen, die den Ton C hervorbringen, eine Länge von 8 Fuß beilegen, weil unser Ohr 128 mal in 1 Secunde durch gleiche Erschütterungen getroffen wird, wenn es diesen Ton wahrnimmt, und eine 8 Fuß Raum einnehmende Welle gerade $\frac{1}{128}$ Secunde gebraucht, um mit allen ihren Theilen an unser Ohr zu treffen; der Welle des Tones G müssen wir eine Länge von $5\frac{1}{3}$ Fuß beilegen und so ferner. Ebenso könnten wir also auch hier von der Wellenlänge der Lichtwellen reden, wenn es uns gelingen sollte, diese näher zu bestimmen; und so wie dort jedem Tone eine eigene Wellenlänge zukömmt, so nehmen wir hier für jeden Farbenstrahl eine eigene Wellenlänge an.

Gesetze der gradlinigen Fortpflanzung des Lichtes. Unerklärbarkeit der Aberration.

Diese Wellen breiten sich im Aether nach allen Seiten, kugelförmige Wellenschichten darstellend, aus, und indem unser Sehen ohne Zweifel darin besteht, daß das Antreffen dieser Lichtwellen unsre Sehenerven afficirt, so ist leicht zu begreifen, daß wir den Gegenstand in der Richtung sehen, welche dem Mittelpuncte dieser Wellen entspricht. Wird die Lichtwelle nur durch eine kleine Oeffnung AB eingelassen (Fig. 112.), so geht sie so wie die Kreise anzeigen fort, und die Erleuchtung findet nur da statt, wohin die vom leuchtenden Puncte C durch die Oeffnung gezogenen Linien gelangen können, das ist, die Lichtstrahlen CAE, CBF, und so

alle andere, gehen in graden Linien fort. Man hat hiegegen den Einwurf gemacht, daß Wasserwellen, wenn sie durch die Oeffnung AB gehen, sich auch seitwärts über EF hinaus ausbreiten, und daß, wenn dieses bei den Lichtwellen statt fände, der Schatten bei E und F nicht so strenge begrenzt sein könnte; aber Sie werden in der Folge sehen, daß die Beugung des Lichtes uns wirklich solche, sich mehr ausbreitende Wellen zeigt, daß also dieser Einwurf, den ich in der Folge noch sorgfältiger in Erwägung ziehen werde, seine Kraft verliert.

Die Abnahme der Erleuchtung bei größerem Abstande von dem leuchtenden Körper muß offenbar auch hier statt finden. Der Schall, mit welchem wir hier das Licht vergleichen, wird nach eben den Gesetzen schwächer, wie die Erleuchtung; und die Theorie zeigt, daß die Erschütterung der einzelnen Theilchen in den kugelförmigen Wellenschichten so abnimmt, daß die durch diese Erschütterung hervorgebrachte Wirkung (und diese eben zeigt sich uns als Erleuchtung) dem Quadrate der Abstände umgekehrt proportional ist. Ich muß hiebei die Bemerkung machen, die Ihnen schon aus der Lehre von den Wellen und vom Schalle bekannt ist, daß diese Erschütterung der Theilchen, der abwechselnde Hingang und Zurückgang derselben sehr verschieden von der Schnelligkeit der Fortpflanzung ist; — während der Schall **1000** Fuß in **1** Sec. durchläuft, beschreibt jedes einzelne Lufttheilchen nur sehr kleine Bahnen, und diese werden bei schwächerem Schalle kleiner, obgleich die Geschwindigkeit der Fortpflanzung gleich groß bleibt bei starkem und bei schwachem Schalle.

So scheinen also die Gesetze der gradlinigen Fortpflanzung des Lichtes sehr vollkommen dieser Undulationstheorie zu entsprechen. Aber die Aberration des Lichtes läßt sich, selbst nach Fresnel's Geständnisse, der zu den eifrigsten Vertheidigern der Undulationstheorie gehört, nicht wohl erklären. Wird nämlich der vor der fortrückenden Erde liegende Aether mit ihr fortgerissen und wird der hinter ihr liegende Aether genöthigt, ihr zu folgen, so müssen die Undulationen in ihren ursprünglichen Richtungen fortgehen oder auch völlig unterbrochen werden, und es findet keine veränderte Richtung, um die Lichtstrahlen aufzufangen, statt. Anders würde es sein, wenn der Aether durch die in ihm fortgehende Erde einen

freien Durchgang fände, indem dann seine schief auffallenden Wellen dieser schiefen Richtung gemäß einwirken würden; aber einen so ungehinderten Durchgang des Aethers durch die ganze Erde, die, ihrer großen Masse und Dichtigkeit ungeachtet, als fast gar kein Hinderniß für den Aether darbietend angesehen werden müßte, kann man doch nicht wohl annehmen.

Der Unterschied zwischen durchsichtigen und undurchsichtigen Körpern besteht nach dieser Theorie darin, daß in jenen die Vibrationen des Aethers, von welchem alle Körper durchdrungen sind, sich mit ungestörter Regelmäßigkeit, wenn gleich mit verschiedener Schnelligkeit, fortpflanzen, in den undurchsichtigen hingegen eine Störung der regelmäßigen Undulationen statt findet, wodurch diese wenigstens bei weiterem Eindringen völlig vernichtet werden.

Erklärung der unregelmäßigen Zurückwerfung des Lichtes nach dieser Theorie.

Die Zurückwerfung des Lichtes läßt sich nach der Undulationstheorie sehr vollständig erklären. Sehen wir zuerst auf die unregelmäßig von der Oberfläche der Körper zurückgeworfenen Lichtstrahlen, so ist es vollkommen leicht begreiflich, daß die an diese Oberfläche antreffenden Lichtwellen eine wegen der Ungleichheit der Oberfläche unregelmäßige Zurückwerfung erleiden, daß also von jedem Puncte, den die Lichtwelle trifft, neue Lichtwellen nach allen Richtungen ausgehen, und so der erleuchtete Körper sich als ein Licht aussendender zeigt. Je mehr seine Oberfläche geeignet ist, alle Lichtwellen zurückzuwerfen, desto mehr Weiße werden wir ihm beilegen, und kein Körper ist vollkommen weiß, keiner giebt das Licht mit der völligen Intensität zurück, weil bei keinem die Vibrationen ganz ungeschwächt von der Oberfläche zurückgegeben werden. Bei farbig erscheinenden Körpern müssen wir annehmen, daß nur gewisse Lichtwellen, diejenigen nämlich, die eine bestimmte Schnelligkeit der Vibrationen haben, zurückgeworfen werden, und dieses ließe sich mit der Eigenschaft tönender Körper vergleichen, die entweder bei der Resonanz alle Töne zurückzugeben fähig sind, oder nur bei gewissen Tönen, bei denen nämlich, die eine bestimmte Anzahl von Vibrationen in bestimmter Zeit vollenden, zum Mittönen veranlaßt werden, — die erstern wären den weißen Körpern, die letzteren

den farbigen zu vergleichen. Sind die Körper durchsichtig und zugleich farbig, so muß man annehmen, daß die Theilchen des Körpers auch im Innern nur die Fortpflanzung einiger Lichtwellen, und zwar solcher, deren Folge bestimmten Zeit=Intervallen entspricht, gestatten; und dabei würde man den Unterschied, daß bei einigen Körpern die übrigen Wellen an der Oberfläche zurückgeworfen werden, bei andern Körpern die übrigen Wellen im Innern völlig unwirksam werden, zugestehen müssen; jene nämlich wären die, welche bei der Zurückwerfung des Lichtes die Ergänzungsfarbe zu der Farbe des durchgelassenen Lichtes zeigen, diese hingegen zeigen unter beiden Umständen einerlei Farbe.

Ich habe bei diesen Erklärungen die Ansicht so gefaßt, als ob die gröberen materiellen Theilchen der Körper einen wesentlichen Einfluß auf die Durchlassung oder Zurückwerfung des Lichtes hätten, statt daß nach der Meinung der scharfsinnigsten Vertheidiger dieses Systemes nur der in jedem Körper enthaltene Aether es ist, dem wir die Fortpflanzung der Vibrationen zuschreiben müssen; aber es scheint, als ob man bei den Farben=Erscheinungen nicht ganz ausreicht, wenn man nicht den Körpertheilchen einige Einwirkung gestattet, wenn gleich die Theoreme, die sich ganz auf die Fortpflanzung im Aether gründen, durch ihre mathematische Begründung diesem Systeme am meisten Beifall erworben haben; — ich gehe jetzt zur Darstellung einiger dieser Lehrsätze über.

Gleichzeitige Entstehung zurückgeworfener und eindringender Lichtwellen.

Jener Aether, dessen Wellen uns die Empfindung des Lichtes gewähren, ist durch alle Körper verbreitet; aber er ist weniger elastisch in den dichteren Körpern. Daß diese ungleiche Elasticität sich nicht genau nach der specifischen Schwere der Körper richtet, sondern auch noch auf andern Eigenschaften, unter denen die Brennbarkeit eine der merkwürdigsten ist, beruht, läßt sich wohl erwarten, indem auch hier eigenthümliche Verwandtschaften, die sich uns in der ungleichen Brechung des Lichtes offenbaren, statt finden mögen. An diese Voraussetzung, daß der Aether in den dichtern Körpern weniger Elasticität besitze, schließen sich nun mehrere merkwürdige Folgerungen. Die theoretische Untersuchung nämlich zeigt, daß

eine Aetherwelle, an die Grenze jenes minder elastischen Aethers antreffend, sich in zwei Wellen zerlegt, deren eine mit eben der Fortpflanzungsgeschwindigkeit *) wieder zurückgeht, zurückgeworfen wird, die andre aber mit verminderter Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den weniger elastischen Aether eintritt. Poisson's mathematisch durchgeführte Untersuchung zeigt, daß es auch beim Schalle so sein muß, wenn er aus einem elastischen Mittel in ein andres weniger elastisches übergeht. Er zeigt, daß die Stärke des zurückgeworfenen Lichtes (das heißt hier, die Vibrationsgeschwindigkeit der Aethertheilchen in der zurückgehenden Welle,) desto größer ist, je mehr das Licht in dem Körper, in welchen es zum Theil übergeht, gebrochen wird, je weniger elastisch der Aether in demselben ist. Nach Poisson's Berechnung muß bei senkrecht auffallenden Strahlen, wenn sie aus dem leeren Raume oder aus der Luft auf Wasser fallen, nur $\frac{1}{49}$, wenn sie auf Glas fallen, $\frac{1}{19}$ bis $\frac{1}{16}$, wenn sie auf Diamant fallen, ein ganzes Sechstel, reflectirt werden; und die Erfahrung bestätigt diese große Ungleichheit. Es erhellt hier auch, daß da, wo der Lichtstrahl aus dem dichtern Körper in den dünnern übergeht, eine Zurückwerfung an der Trennungsfläche statt finden muß, indem auch da, wo die Vibration wieder in den mehr Elasticität besitzenden Aether übergeht, eine nur wenig schwächere zurückgehende Welle entsteht; und die Vertheidiger dieser Theorie finden hierin nicht mit Unrecht einen Vorzug derselben vor der Emissionstheorie, indem hier die Durchlassung und Zurückwerfung des Lichtstrahles ohne eine neue Hypothese, ohne ungleiche wechselnde Zustände der Lichttheilchen und ohne eine zurückstoßende Kraft an der Oberfläche, erklärt wird. Aber auch der Weg des

---

*) Ich habe wohl kaum nöthig, noch einmal zu bemerken, daß ich unter: Fortpflanzungsgeschwindigkeit diejenige verstehe, die wir beim Schalle: Geschwindigkeit des Schalles, nennen; unter: Vibrationsgeschwindigkeit, die Schnelligkeit der in sehr kleinen Räumen hin und hergehenden Theilchen, also diejenige, worauf die Stärke des Schalles oder Lichtes beruht; unter: Schnelligkeit der Folge der Vibrationen, die Zwischenzeit zwischen zwei gleichen Vibrationszuständen, worauf beim Schalle die Tonhöhe beruht. Für das Licht ist die erstere ungleich in verschiedenen, das Licht ungleich brechenden, Medien, die zweite ungleich bei verschiedener Intensität des Lichts, die dritte ungleich bei verschiedenen Farben.

zurückgeworfenen Strahles und des gebrochenen Strahles wird nach dieser Theorie richtig bestimmt.

Gesetze der Spiegelung.

Es scheint beim ersten Anblicke, als ob die Undulationstheorie die Reflexion an Spiegeln nicht erkläre, indem ja die von A ausgehenden Wellen in allen Puncten der Ebne BD (Fig. 113.) gleich gut neue Wellen erregen müssen; aber eine genaue Betrachtung hebt diesen Zweifel. Gewiß ist es freilich, daß die in B antreffende Wellenfolge eine ebensolche Wellenfolge, deren Mittelpunct B ist, erregt, daß die an E treffende Wellenfolge eine ebensolche um E und so um F, G, und jeden andern Punct erregt; aber die vereinigte Wirkung dieser Wellen ist gleichwohl den Gesetzen der Spiegelung genau entsprechend. Wenn die um den Mittelpunct A gezeichneten Kreise die einzelnen von A ausgegangenen Wellen für einen gewissen Zeitpunct bezeichnen, so erhellt, daß, indem die sechste an E antrifft, die fünfte schon eine erste von B zurückgehende Welle hervorgebracht hat, daß, indem die siebente an F antrifft, schon eine zweite zurückgehende a von B, eine erste zurückgehende b von E ausgegangen ist, daß, indem die achte an G anstößt, schon eine dritte E2 von B, eine zweite c von E, eine erste d von F zurückgehend ausgegangen ist. Ein Auge also, welches sich in dem Momente, da die achte Welle an G anstößt, in k befindet, erhält zugleich den Eindruck der von E kommenden zweiten, der von F kommenden ersten zurückgehenden Welle, und dieser Eindruck ist aus der Wirkung beider Wellen zusammengesetzt; ein Auge in l erhält den vereinigten Eindruck der ersten von F ausgehenden Welle und einer, noch nicht um eine ganze Wellenbreite vorgeschrittenen von d ausgegangenen Welle. Dieser gemeinschaftliche Eindruck ist aber, wie sich genau und vollständig zeigen läßt, eben der, welchen die Welle 2kG hervorbringen würde, die alle von B, a, E, b, F, d ausgegangenen Wellen, so wie sie in diesem Momente jede in ihrem Fortschreiten angekommen sind, berührt; — diese Berührungswelle und ihr Fortschreiten müssen wir also hier betrachten; sie ist es, welche die Wirkung aller benachbarten, das Auge k rührenden Wellen, welche die Wirkung aller benachbarten, das Auge l rührenden Wellen gleichsam in sich schließt, indem sie mit

den sich in einander verlaufenden, sich unter sehr kleinen spitzigen Winkeln schneidenden Wellen in jedem ihrer Puncte einerlei ist. Die größere Welle LD, die gleichsam aus den um B, um a, um E, um F, um G, um H gezeichneten Kreisbogen (welche die Figur zeigt,) zusammengesetzt ist, läßt dies noch deutlicher übersehen. Diese Wellen aber, die der gleichzeitigen Wirkung aller von BD zurückgeworfenen Wellen entsprechen, sind Kreise, die in P ihren Mittelpunct haben, sie pflanzen sich so fort, wie es Wellen von P ausgehend thun würden; P aber liegt in der Senkrechten BA ebenso weit hinter BD als A vor derselben liegt, und ein Auge in k oder M hat folglich eben die Empfindung, als ob die Lichtwellen von P ausgingen, das ist, es sieht den Gegenstand im Spiegel ebenso weit hinter dem Spiegel, als er wirklich vor demselben liegt.

Diese Erklärung der Gesetze der Spiegelung ist wohl so genügend, daß sie nichts zu wünschen übrig läßt, und daß an sie sich die Erklärung aller der einzelnen Erscheinungen knüpft, die bei Brennspiegeln u. s. w. vorkommen, versteht sich von selbst. Was die Vereinigung der Wirkung unzähliger im Brennpuncte zusammentreffender Wellen betrifft, so hat man den Zweifel geäußert, ob nicht diese Wellen zum Theil sich gegenseitig zerstören und dadurch ihre Wirkung vermindern müßten. Dieser Einwurf findet gegen die Emissionstheorie ebenso gut Anwendung, indem, wenn dort die im Brennpuncte an einander treffenden Lichttheilchen sich gegenseitig von ihren Bahnen ablenken, ebensogut eine Schwächung der durch den Brennpunct gegangenen Lichtstrahlen statt finden muß, wie hier, wenn die Wellen gegenseitig ihren Fortgang stören. Dieser Zweifel läßt sich von der einen Seite durch die Bemerkung, daß die Lichttheilchen in großen Entfernungen von einander ihre Bahnen durchlaufen können, von der andern Seite durch die theoretisch und empirisch bestätigte Bemerkung, daß die Wellen sich ohne merkliche Störung durchkreuzen können, widerlegen; aber merkwürdig bleibt es, daß Kater eine wirklich geringere Erleuchtung vermittelst der durch den Brennpunct gegangenen Strahlen gefunden zu haben meint. Es ist nämlich offenbar, daß die nach der Vereinigung im Brennpuncte aufgefangenen Strahlen, wenn man sie in bestimmter Entfernung hinter dem Brennpuncte auffängt, ebenso stark erleuchten sollten, als sie es in gleicher Entfernung vor

dem Brennpuncte, ehe sie vereinigt wurden, thaten; nach Kater findet man jene Erleuchtung schwächer.

Gesetze der Brechung.

Ich komme nun zu der Erklärung der Brechung, die bis auf einen gewissen Punct auch keine Schwierigkeit findet, allerdings aber in Beziehung auf die Farbenzerstreuung sich nicht auf eine in die Undulationstheorie passende Weise durchführen läßt. Diese Schwierigkeit wollen wir zuerst noch aus den Augen lassen.

Die Undulationstheorie fängt ihre Erklärung der Brechung mit der schon angeführten Bemerkung an, daß der Aether zwar in allen Körpern vorhanden ist, aber nicht in allen gleiche specifische Elasticität besitzt. Diese ist geringer in den Körpern, die das Licht stärker brechen, und da an den Grenzen zweier Körper offenbar die absolute Elasticität des Aethers oder der von ihm ausgeübte Druck, gleich sein muß, indem er sonst aus dem einen in den andern hinübergehen würde, so muß der Aether in den dichteren Körpern dichter bei gleicher Spannkraft sein, und das eben ist es, was wir geringere specifische Elasticität (geringere Elasticität bei gleicher Dichtigkeit,) nennen. Das Licht pflanzt sich also in den dichteren oder in den einen dichteren Aether enthaltenden Körpern langsamer fort, so wie der Schall sich in kohlensaurer Luft langsamer als in Wasserstoffgas fortpflanzt. Es scheint auffallend, daß die beiden Theorieen in einem so wichtigen Puncte uneinig sind, indem die eine dem Lichte eine schnellere Fortpflanzung in den stärker brechenden Körpern beilegt, die andre eine langsamere; gleichwohl ist dieser Gegensatz ganz folgerecht in der Natur dieser Theorieen begründet, und es läßt sich durch keine der bis jetzt erklärten Erscheinungen eine Entscheidung für die eine oder die andre Ansicht finden. Jener Voraussetzung gemäß also nehmen wir an, daß die in den stärker brechenden Körper eintretende Lichtwelle innerhalb desselben langsamer als vor dem Eintritte fortschreitet, und wollen nun sehen, wie sich der gesammte Eindruck der eingetretenen Lichtwellen zeigen wird. Um die Folgerungen leichter zu übersehen, nehme ich die Lichtwellen als von einem sehr entfernten Puncte kommend an, damit die kleinen Theile derselben AB, CD, EF, GH (Fig. 114.) als grade Linien, als unmerklich gekrümmte Bogen sehr großer Kreise,

können angesehen werden. Diese Wellen treffen an die Grenzfläche eines Körpers an, in welchem sie, wenn wir das Glas als Beispiel nehmen, nur zwei Drittel ihrer vorigen Schnelligkeit behalten, und die in A antreffende Welle hat sich daher innerhalb nur bis R fortgepflanzt, während sie außerhalb bis CD gelangt ist, sie hat sich nur bis S oder T fortgepflanzt, während sie außerhalb bis EF oder GH gelangt ist, und es läßt sich daher leicht übersehen, daß RC, SE, TG die im Innern fortgehenden Wellen darstellen. Da wir nun unter der Richtung des Lichtstrahles die auf die Wellenzüge senkrechte Richtung, oder diejenige, nach welcher die Wellen fortrücken, verstehen, so ist UA die Richtung des einfallenden, AV die Richtung des gebrochenen Strahles; und es ist $VW = \frac{2}{3} UX$, wenn $AU = AV$ und $AT = \frac{2}{3} GZ$ ist. Also wenn die Beschaffenheit des zweiten Körpers es mit sich bringt, daß die Geschwindigkeit des Lichtes auf zwei Drittel vermindert wird, so ist der Sinus des gebrochenen Winkels gleich zwei Dritteln vom Sinus des Einfallswinkels, und das Gesetz der Brechung, daß dieses Brechungsverhältniß gleich bleibt bei allen Einfallswinkeln, ist eine Folgerung, die aus den Gesetzen der Undulationstheorie hervorgeht.

Eine Schwierigkeit scheint dagegen die Undulationstheorie in Beziehung auf die vollkommene Zurückwerfung des Lichtstrahles an der Hinterfläche eines dichteren, das Licht stärker brechenden Körpers darzubieten. Sie wissen, daß diese da entsteht, wo gar kein Theil des Lichtstrahles hervordringend in den minder dichten Körper übergeht, und es scheint nicht wohl möglich, anzunehmen, daß die Undulationen sich hier durchaus nicht in jene minder dichten Aetherschichten hinüber fortpflanzen sollten. Poisson löset diesen Zweifel sehr richtig durch die Bemerkung, daß auch die Theorie allerdings die Meinung von einem Entstehen von Undulationen in jenen Aetherschichten bestätige, aber zugleich zeige, daß diese Lichtwellen von einer solchen Schwäche sind, daß sie bei ihrer Verbreitung durchaus unmerklich werden. Der Umstand dagegen, daß da, wo zwei das Licht genau gleich brechende Körper sich berühren, auch keine Zurückwerfung statt findet, erklärt sich hier ohne Schwierigkeit, da die gleiche Brechung eine gleiche Elasticität des Aethers in beiden Körpern beweist, und diese Gleichheit bei aller übrigen Verschiedenheit ausreicht, um die Körper als ganz gleich in Beziehung

auf das Licht anzusehen. Finden also hier, wie Brewster angiebt, doch noch kleine Verschiedenheiten in Hinsicht auf die zuweilen nicht gänzlich verschwindende Zurückwerfung bei gänzlich verschwindender Brechung statt, so müßte dieser Umstand noch besonders erklärt werden.

Unzulänglichkeit dieser Theorie für die ungleiche Brechung der ungleichfarbigen Strahlen.

Aber nun bietet sich eine wichtige Schwierigkeit dar, zu deren Wegräumung die Undulationstheorie kein Mittel anzugeben scheint. Es erhellt nämlich aus den eben durchgeführten Betrachtungen, daß die Größe der Brechung ganz allein von der Schnelligkeit der Fortpflanzung der Lichtwellen in den an einander grenzenden Materien abhängt, diese Schnelligkeit aber durch die Dichtigkeit des Aethers bestimmt ist; da nun doch gewiß keine verschiedene Aether-Arten in einem und demselben Raume angenommen werden können, so müssen auch in dem zweiten Körper alle Lichtwellen eine gleiche Geschwindigkeit und folglich auch eine gleiche Brechung haben; eine Zerstreuung der Farbenstrahlen, eine ungleiche Brechbarkeit des verschiedenfarbigen Lichtes scheint nicht statt finden zu können. Da gleichwohl die Erfahrung diese ungleiche Brechung zeigt, so müssen wir etwas genauer die Verschiedenheit der Umstände bei den verschiedenen Farben erwägen, um zu sehen, wo etwa eine Erklärung dieser Erscheinung im Sinne der Undulationstheorie gesucht werden könnte. Nach dieser Theorie ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit für alle Farben gleich, aber da die Wellen des violetten Lichtes *) schneller auf einander folgen, einen geringern Zwischenraum zwischen den in gleichem Zustande befindlichen Theilchen darbieten, so müßte die Theorie einen Grund angeben, warum diese kürzeren Wellen mehr gebrochen werden. Euler hatte die Meinung geäußert, dies sei deswegen der Fall, weil jede folgende mehr als bei längern Wellen auf die Bewegung der Theilchen einwirke; aber Poisson macht die richtige Bemerkung, daß diese Einwirkung in

*) Es ist wohl kein Fehler so zu sprechen, obgleich nicht die Meinung ist, daß diese Wellen ein violettes Fluidum, verschieden von den rothen Wellen, sind.

einer verminderten Abnahme der Geschwindigkeit bestehen müßte, daß nämlich die violetten Strahlen sich nach dem Eintritte in den dichteren Körper schneller als die rothen bewegen, eben darum also auch jene weniger, diese mehr gebrochen werden müßten, welches grade das Gegentheil dessen ist, was wir aus Erfahrung wissen. Poisson, der unter den Vertheidigern der Undulationstheorie am allerstrengsten sich an die sicher begründeten theoretischen Schlüsse gehalten hat, gesteht, daß bis jetzt diese Schwierigkeit nicht gehoben werden könne, daß man indeß in einer so schwierigen Untersuchung, ohne die Rechnung ganz durchzuführen, nicht den Erfolg aller Umstände nach einer ungefähren Voraussicht angeben könne, und daß es daher ungewiß sei, ob vielleicht ein solcher Einfluß der schneller einander folgenden Wellen, so wie die Erfahrung ihn anzudeuten scheine, da statt finden könne, wo die Wirkungssphäre der Kräfte, welche die Elasticität des Aethers bestimmt, sich weiter als bis auf eine Wellenlänge erstreckt. Doch von dieser vielleicht möglichen, aber höchst schwierigen Bestimmung, ob die reine Undulationstheorie bei dieser Frage ausreiche, kann ich hier keinen genauern Begriff geben. Young und Fresnel suchen die Schwierigkeit auf eine andre Weise zu heben, die ich früher schon angedeutet habe, und der ich hier noch eine kleine Einleitung voranschicken muß.

Nach den hier durchgeführten Betrachtungen beruht die reine Undulationstheorie auf einer Untersuchung der Undulationen in den an einander grenzenden Aetherschichten von ungleicher Dichtigkeit; diese Untersuchung läßt sich, ganz entsprechend den acustischen Theorieen in strenger mathematischer Form durchführen, und so lange man dabei stehen bleibt, so ist der Ruhm, den Fresnel der Undulationstheorie beilegt, daß sie einer strengen mathematischen Entwickelung fähig sei, und nichts Willkührliches beigemischt enthalte, sehr wohl begründet. Aber wenn man bei ihr stehen bleibt, so muß man auch die hier nicht wegzuräumende Schwierigkeit offen anerkennen, wie Poisson es thut, und nicht zu einem andern Hülfsmittel seine Zuflucht nehmen, welches gleichwohl Young und Fresnel gethan haben. Sie machen nämlich bemerklich, daß durch die Lichtwellen auch wohl die gröberen materiellen Theilchen der Körper in Vibrationen gesetzt werden und daß diese die Aetherwellen im Innern des Körpers modificiren könnten. Daß

dies möglich sei, bin ich nicht geneigt ganz zu leugnen; aber indem wir eine solche Einmischung andrer Vibrationen annehmen, geben wir es auf, die theoretische Strenge der Undulationstheorie aufrecht zu erhalten, und setzen uns eben dem Vorwurfe aus, den Fresnel so oft der Newton'schen Theorie macht, zu jeder neuen Erscheinung neue, nicht in der Grundhypothese schon liegende Voraussetzungen zu Hülfe zu nehmen. Daß übrigens dieser Einfluß der materiellen Theilchen vielleicht ein sehr mannigfaltiger und grade so sein kann, wie die verschiedene Brechung der einzelnen Farbenstrahlen ihn fordert, das läßt sich weder beweisen noch leugnen. Die ungleiche Farbenzerstreuung, welche darin besteht, daß nicht im strengsten Sinne ein gewisser Farbenstrahl eine genau gleiche Stelle im Farbenbilde einnimmt, ist offenbar ein Umstand, der die Schwierigkeit noch vergrößert.

Rückblick auf die Schwierigkeiten bei beiden Theorieen.

Indeß, wie wir auch über diese Versuche, eine so höchst wichtige Erscheinung zu erklären, denken mögen, so ist doch schon in dem Bisherigen recht vieles zur Empfehlung der Undulationstheorie enthalten; und da wir bald auf Erscheinungen kommen, die sie höchst glücklich erklärt, so ist es wohl der Mühe werth, die ganze Vorstellung, die sie von den Lichtphänomenen giebt, noch genauer zu entwickeln. Aetherwellen sind es, die in unendlich schneller Folge hinter einander kommend unser Auge rühren. Jede dieser Wellen entsteht so, wie die Schallwellen in der Luft, durch eine abwechselnde Verdünnung und Verdichtung des Aethers, und wir dürfen daher von einem verdünnten Wellentheile und von einem verdichteten Wellentheile reden, die zusammen eine ganze Welle, eine Wellenlänge ausmachen; diese Verdünnungen und Verdichtungen sind mit einem Vibriren der Aethertheilchen selbst, die ihre Stelle nur höchst wenig ändern, verbunden; aber jener Wechsel der Dichtigkeiten theilt sich von einem Theilchen zum andern mit, und dies mit der Ihnen schon bekannten großen Geschwindigkeit, die das Licht besitzt. Da wo zwei Lichtwellen sich verstärkend zusammentreffen, da nimmt die Erleuchtung zu, und wir haben in den bisher angeführten Erscheinungen keinen Grund gefunden zu

fragen, ob es denn ein andres, als ein sich verstärkendes Zusammentreffen geben könne.

Diese Vorstellung von Lichtwellen würde vollkommen einfach sein, wenn nicht die Mannigfaltigkeit der Farben sie viel verwickelter machte. Denken wir uns die Lichtwellen, die unserm Auge die Empfindung des äußersten Roth im prismatischen Sonnenbilde gewähren, so müssen wir diesen eine gewisse Wellenlänge beilegen, und wo nur dieses Licht hervorgeht, da folgen sich gleichmäßig alle Wellen in gleichem Abstande. Aber dieser Abstand ist ein anderer bei den Wellen des gelben Lichtes, bei denen des grünen, des blauen, des violetten, und da, wie ich früher überzeugend gezeigt zu haben hoffe, es eine unendliche Mannigfaltigkeit ungleich brechbarer Strahlen giebt, da zwischen dem äußersten Roth und dem äußersten Violett im Sonnenstrahle fast alle Abstufungen von Brechbarkeit in wenig unterbrochener Reihenfolge vorkommen; so muß es eine unzählig mannigfaltige Reihenfolge verschiedener Wellen geben, die alle eine gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit haben, aber an Länge oder in Hinsicht des Abstandes der in gleichem Verdichtungs- und Verdünnungszustande befindlichen Aethertheilchen, in einer ganzen Reihe von Abstufungen von einander verschieden sind. Alle diese Wellen-Arten kommen im Sonnenlichte also zu uns und indem sie alle zugleich unser Auge rühren, haben wir die Empfindung des Weiß; alle diese Wellen-Arten dringen mit Beibehaltung ihrer ganzen Mannigfaltigkeit durch die ungefärbten durchsichtigen Körper, statt daß die farbigen durchsichtigen Körper nur einige dieser Wellen-Arten, nur die, welche in gewissen bestimmten Wellenlängen einander folgen, durchlassen. Bei der Brechung nimmt jede dieser Wellen-Arten eine andre Richtung an, und jeder im strengsten Sinne keiner weiteren Zerstreuung fähige Farbenstrahl enthält nur eine Art von Wellenfolge. — Gewiß ist diese Vorstellung von so mannigfaltigen Wellen-Arten, die jede in eben der Richtung ihre Bewegung regelmäßig fortsetzen, deren keine die andre stört, schon etwas schwer zu fassendes, und doch müssen wir, um die wunderbaren Erscheinungen des Lichtes zu verstehen, noch größere Verwickelungen zugestehen.

Diese Verwickelung könnte uns geneigt machen, wieder zu der Emissionstheorie zurückzukehren; aber auch dort ist die Verwickelung

nicht geringer. Es ist allerdings leichter, denjenigen Lichttheilchen, die sich durch verschiedene Brechbarkeit unterscheiden, eine Mannigfaltigkeit der Gestalt oder Größe, und diese Mannigfaltigkeit in tausend Abstufungen, nach dem Gesetze der Stetigkeit einander folgend, beizulegen; wir können uns diese tausendfach verschiedenen Theilchen in eben dem Sonnenstrahl zugleich oder neben oder hinter einander ankommend vereinigt denken und annehmen, daß bei der Brechung jede Art der Theilchen ihren eignen Weg nehme; aber da wir genöthigt sind, jedem dieser mannigfaltigen Theilchen ungleiche Zustände beizulegen, da wir endlich sogar Fälle werden kennen lernen, wo das Zusammentreffen von Lichtstrahlen die Erleuchtung zerstört, anstatt sie zu verstärken, so müssen wir wohl bekennen, daß auch diese Theorie keinesweges genügende Aufschlüsse über alle Erscheinungen giebt.

Vierzehnte Vorlesung.

Die Farben dünner Blättchen.

Als ich neulich, m. h. H., Newton's Behauptung, daß man sich die Lichttheilchen als einem wechselnden Zustande leichter Zurückwerfung und leichten Durchganges beim Antreffen an eine Trennungsfläche zweier durchsichtigen Körper unterworfen denken müsse, erwähnte, mußte Ihnen, fürchte ich, dieser Gedanke, als allzu wenig begründet erscheinen; ich eile daher, Sie mit derjenigen höchst merkwürdigen Erscheinung bekannt zu machen, die beinahe gradezu auf diese Ansicht führt, und die, wenn sie gleich eine andre Erklärung gestattet, doch Newton gewiß wegen jener Voraussetzung sehr vollständig rechtfertiget.

Diese Erscheinung stellt sich uns in den Farben durchsichtiger sehr dünner Körper, wenn sie vom Tageslichte oder Sonnenlichte getroffen werden, dar; — eine Erscheinung, die ebenso sehr durch die Schönheit ihrer Farben, als durch die auffallende Eigenthüm-

lichkeit, daß sie aus farbenlosen Körpern, und überdas mit ungleichen Farben nach Maaßgabe der Dicke der Schichten hervorgeht, die Aufmerksamkeit selbst des gewöhnlichen Beobachters auf sich zieht. Sie ist Ihnen an den Seifenblasen, ja an jedem dünnern Bläschen, das in dem Schaume irgend einer Flüssigkeit hervortritt, bekannt, und noch schöner können Sie dieselbe in folgendem Experimente hervorbringen. Stellen Sie ein Gefäß mit reinem Wasser so, daß sie den hellen Himmel, er sei nun heiter oder bewölkt, gespiegelt im Wasser sehen; bringen Sie dann einen kleinen Tropfen Terpentin-Oel oder ein andres Oel, das sich leicht auf dem Wasser ausbreitet, auf das Wasser; so sehen Sie diesen Tropfen, die lebhaftesten, schönsten Farben gebend, sich verbreiten. Der Tropfen muß klein, etwa mit einem Metalldrathe aus dem Gefäße mit Terpentin-Oel hervorgehoben, sein, damit bei recht dünner Verbreitung des Tropfens desto schönere Farben hervorgehen.

Newton's Farbenringe.

Aber um diese einfachen Versuche recht zu verstehen, müssen wir etwas künstlichere Versuche anstellen, bei welchen das Maaß der Dicke dieser farbenlosen und dennoch Farben zeigenden Schichten angegeben werden kann; und hier ist es wieder Newton, der diese Versuche zuerst und mit großer Genauigkeit angestellt, der eben dadurch die Regeln, nach welchen sich diese Farben zeigen, vollständig entdeckt hat. Newton bemerkte diese Farben da, wo zwischen zwei Gläsern ein sehr kleiner Zwischenraum, also eine dünne Luftschichte, enthalten ist, und dieses veranlaßte ihn, ein nach einem sehr großen Halbmesser geschliffenes Linsenglas auf ein völlig ebnes Glas zu legen, um die sich hier zeigenden Farben zu beobachten. Die Farben erscheinen hier in regelmäßigen Ringen, die den Mittelpunct, wo beide Gläser sich berühren, als concentrische Kreise umgeben; ist das obere Glas wenig gegen das untere gedrückt, so zeigt sich irgend eine Farbe in der Mitte, die von andern Farbenringen umgeben ist; verstärkt man dann den Druck, so daß der Abstand der Gläser von einander etwas geringer wird, so breitet sich jene den Mittelpunct ausfüllende Farbe in einen Ring aus, den die vorigen Ringe, nun einen etwas größern Durchmesser annehmend, umgeben, und eine neue Farbe nimmt die Mitte ein;

bei noch mehr verstärktem Drucke geht wieder die Farbe des Mittelpuncts in einen neuen Ring über, und so entstehen nach und nach bei verstärktem Druck mehr Ringe, bis endlich in der Mitte die innige Berührung beider Gläser erreicht und ein dunkler Fleck in der Mitte entstanden ist, und dann ist die Folge der Farbenringe allemal völlig gleich. An den schwarzen Fleck, der die Mitte einnimmt, grenzt ein schmaler violetter und blauer Ring, der von einem weißen Ringe, dieser von einem gelben und einem rothen umschlossen ist; dieser Farbenfolge schließt eine zweite von sehr hellen Farben sich an, deren Ordnung von der Mitte her gerechnet violett, blau, grün, gelb, roth ist; eine dritte Farbenfolge zeigt ein etwas röthlicheres Violett, Blau, schönes Grün und Gelb, endlich ein zum Purpur hinneigendes Roth; die Ringe der vierten Farbenfolge sind nur grün und roth, doch bemerkt man an der innern Seite des Grün noch ein Hinneigen zum Blau, an der äußern Seite ein Hinneigen zum Gelb; diese selbigen Farben wiederhohlen sich in der fünften und sechsten Farbenfolge, aber immer matter, und endlich gehen die Farben in Weiß über. Man sieht diese Ringe recht schön nur bei einem großen Linsenglase, dessen auf dem andern Glase liegende Wölbung nach einem sehr großen Halbmesser geschliffen ist, weil da die Abstände beider Gläser, worauf es hier ankommt, nur sehr langsam zunehmen; aber auch bei kleinern Linsen, etwa bei einem Brennglase von 3 oder 4 Zoll Durchmesser, dessen Brennweite 1 bis 2 Fuß ist, bemerkt man beim festen Andrücken gegen ein zweites Glas einen Fleck, der, wenn man ihn mit einem einfachen Vergrößerungsglase betrachtet, mit eben jenen Ringen umgeben ist. Was aber jenen Newton'schen Versuch nun so höchst merkwürdig macht, ist, daß die Farben immer gleichmäßig da hervorgehen, wo der Zwischenraum zwischen den Gläsern gleich ist, so daß man für Linsen von verschiedenen Halbmessern, die man auf ebne Gläser legt, bei Berechnung des Abstandes, der in irgend einer Entfernung vom Mittelpuncte statt findet, genau einerlei Farbe da findet, wo der Zwischenraum zwischen den sich in der Mitte genau berührenden Gläsern gleich ist. Diese Gleichheit der Farbe gilt indeß nur dann, wenn das Auge so steht, daß es in einer gleichen und wenig von der Senkrechten abweichenden Richtung die zurückgeworfenen Strahlen empfängt; denn

bei einer veränderten Stellung des Auges ändern sich die Farben, so daß die Ringe der zweiten, dritten Farbenfolge immer desto größere Durchmesser erhalten oder weiteren Abständen der Gläser von einander entsprechen, je mehr das Auge sich von der gegen die dünne Luftschichte senkrechten Lage entfernt.

Ich brauche Ihnen nicht umständlich zu zeigen, wie (Fig. 115.) die Abstände **ab**, **cd**, zwischen der ebnen und der gewölbten Glas-Oberfläche in bestimmten Entfernungen von der Mitte berechnet werden, und Sie werden leicht übersehen, daß Newton durch Abmessung der Halbmesser der Ringe zu der Bestimmung gelangen konnte, daß die hellsten Farben bei senkrechter Richtung zum ersten, zweiten, dritten Male da hervorgingen, wo die Dicke der Luftschichte $\frac{1}{1778000}$ Zoll, $\frac{3}{1778000}$ Zoll, $\frac{5}{1778000}$ Zoll (des englischen Zolles) betrug, und diese Entfernungen, die wir später noch durch andre Versuche näher kennen lernen, stehen also in einer wesentlichen Beziehung mit dem Entstehen dieser Ringe.

Aber die hier angegebenen, durch Zurückwerfung des Lichtes sichtbar werdenden Farben sind nicht die einzigen, welche sich hier beobachten lassen; sondern wenn man das Auge auf die entgegengesetzte Seite der Gläser bringt, so bemerkt man ebenfalls Ringe, die in dem durchgelassenen Lichte kenntlich sind, und — was besonders merkwürdig ist, — in diesen ist an jeder einzelnen Stelle die Ergänzungsfarbe zu derjenigen Farbe, die man an eben der Stelle durch die zurückgeworfenen Strahlen erblickte, das heißt, dem an der einen Seite durch reflectirtes Licht gesehenen rothen Ringe entspricht, wenn man das Auge an die entgegengesetzte Seite bringt, ein ebenso großer grüner Ring, so daß man mit Recht sagen kann, da wo das rothe Licht reflectirt ist, findet sich das grüne Licht eben deshalb im durchgelassenen Lichte im Uebermaaße, wegen der Ausscheidung des rothen Lichtes. Die Ringe, die dem durchgelassenen Lichte ihren Ursprung verdanken, sind minder lebhaft, als die durch zurückgeworfenes Licht entstehenden; dies hat darin seinen Grund, weil viel weißes Licht durchgelassen wird, und daher die hier sich mit dem weißen Lichte mischenden Farben nur matt aus dem weißen Lichte hervortreten, statt daß an der andern Seite die Farbenstrahlen ganz ohne Zumischung weißen Lichtes kenntlicher sich zeigen.

Der ältere Herschel hat mit großem Fleiße diese Versuche wiederholt, und sich Mühe gegeben, theils nachzuweisen, welche Oberflächen der Gläser es eigentlich sind, auf die es hier ankömmt, theils auch die vermöge der durchgelassenen Strahlen entstehenden Ringe bequem und mit den durch zurückgeworfene Strahlen hervorgehenden zugleich zu sehen. In Beziehung auf das erstere wandte er als Unterlage einen ebnen Metallspiegel an, und gebrauchte Linsen, die feine Risse an der Oberfläche hatten, u. s. w.; alle Versuche überzeugten ihn, daß nur die beiden an der dünnen Luftschichte liegenden Oberflächen zu Hervorbringung der Ringe beitragen, die sich auch, wenn die Linse auf dem Metallspiegel lag, zeigten. Um aber beide Arten von Ringen zu sehen, legte er die Linse auf einen ebnen, hinten belegten Glasspiegel **AB**; (**Fig. 116.**) dann sieht das Auge **O** erstlich die von **a** ausgegangenen reflectirten Farbenstrahlen, zweitens aber die als farbig bei **a** durchgelassenen und nachher bei **b** an der Hinterseite des Spiegels zurückgeworfenen Strahlen; indeß sind diese zweiten Ringe schwierig aufzufinden und man sieht sie nur ziemlich gut, wenn man an der Stelle **c**, wo sie erscheinen, durch einen kleinen Gegenstand das Auffallen der directen Lichtstrahlen hindert und so die Reflexionsringe unterbricht. — Alle Versuche Herschel's bestätigen das, was Newton schon gesehen hatte.

Durch diese Versuche ist es also schon entschieden, daß ein enger Zwischenraum zwischen zwei Oberflächen fester Körper eine Farben-Erscheinung hervorbringt; aber Newton, welcher in der hier eintretenden Trennung der Farben eine aus der Mischung der Farbenstrahlen im weißen Lichte hervorgehende mindere Einfachheit des Erfolges erkannte, sah mit seinem gewöhnlichen Scharfsinne voraus, daß der Versuch mit einfarbigem Lichte angestellt werden müsse, um leichter die von jedem einzelnen Farbenstrahle hier befolgten Gesetze angeben zu können. Er ließ im finstern Zimmer den durch das Prisma erhaltenen rothen, den gelben, den grünen Strahl u. s. w., jeden allein auf jene auf dem ebnen Glase liegende Linse fallen, und erhielt nun durch Zurückwerfung rothe Ringe mit ganz dunkeln Zwischenräumen, gelbe Ringe, grüne Ringe u. s. w. mit ganz dunkeln Zwischenräumen, jedesmal dem Lichte entsprechend, das er auf die Gläser fallen ließ. Dieses

ließ sich nicht anders erwarten. Aber zugleich zeigte sich, daß bei Anwendung derselben Gläser die von gelbem Lichte hervorgebrachten Ringe kleiner als die rothen, die grünen kleiner als die gelben, die blauen kleiner als die grünen, die violetten kleiner als die blauen waren, daß also jede Art von Farbenstrahlen eine eigene Dicke der Luftschichte fordere, um durch Zurückwerfung sichtbar zu werden. Newton berechnete aus den Halbmessern der Ringe die Dicke der Luftschichte, und so ergab sich, daß die Mitte des durch die äußersten violetten Strahlen hervorgebrachten ersten Ringes da lag, wo der Zwischenraum 4 Milliontel Zoll betrug, daß die Mitte des zweiten durch eben dieses Violett hervorgebrachten Ringes dem Zwischenraume von 12 Millionteln, die Mitte des dritten 20 Millionteln, die Mitte des vierten 28 Millionteln des Zolles entsprach, so daß diese Zahlen in der Folge 1 mal 4, 3 mal 4, 5 mal 4, 7 mal 4, 9 mal 4 u. s. w. fortgehen. Für einen Farbenstrahl, der an der Grenze des Grün und Gelb im Farbenbilde lag, waren die Abstände, welche der Mitte der Ringe entsprachen, 1 mal $5\frac{1}{4}$ Milliontel, 3 mal $5\frac{1}{4}$, 5 mal $5\frac{1}{4}$, 7 mal $5\frac{1}{4}$, 9 mal $5\frac{1}{4}$; für einen Farbenstrahl, der im Roth dem Ende des Farbenbildes nahe lag, 1 mal $6\frac{1}{3}$, 3 mal $6\frac{1}{3}$, 5 mal $6\frac{1}{3}$, 7 mal $6\frac{1}{3}$, 9 mal $6\frac{1}{3}$.

Diese Versuche zeigten also ganz deutlich, daß bei einer gleichen Stellung des Auges, bei ungefähr senkrechter Zurückwerfung der Strahlen, jede Farbe an einer etwas andern Stelle reflectirt wird, so daß die Zurückwerfung bei violetten Strahlen am besten bei dem Abstande $= 4, 12, 20, 28, 36$, statt findet, aber doch erheblich breite Ringe darbietet, die dem Abstande $=$ 2 bis 6, $=$ 10 bis 14, $=$ 18 bis 22, $=$ 26 bis 30, $=$ 34 bis 38 entsprechen. Die Versuche zeigen ferner, daß jede Farbe ebenso Ringe von gewisser Breite darbietet, und daß daher im weißen Lichte, wo alle Farben zugleich vorhanden sind, Farbenmischungen entstehen müssen, die sich nun sogar nach der Lage jener einzelnen Ringe berechnen lassen. Der erste violette Ring fängt da an, wo der Abstand 2 ist, und da kein andrer Ring einem kleinern Abstande entspricht oder keiner dem Mittelpuncte des in der Mitte genau berührenden Glases näher liegt, so erscheint in der Mitte gar kein zurückgeworfenes Licht, sondern ein schwarzer Fleck, der da, wo der Abstand 2 (immer nämlich Milliontel des engl. Zolles) ist, von

einem violetten und blauen Ringe umgeben ist. Aber schon dem Abstande $3\frac{1}{4}$ entspricht der innere Rand des rothen Ringes und hier gehen also bei einfallendem weißem Lichte Strahlen aller Farben zurückgeworfen hervor, so daß sich der violette und blaue Ring nur ganz schmal zeigen kann und dann von einem weißen Ringe umgeben ist. Bei dem Abstande 6 hört der erste violette Ring auf und in der Entfernung vom Mittelpuncte, wo der Abstand = 7 ist, werden nur noch grüne, gelbe, orange und rothe Strahlen reflectirt, deren Mischung, wie Sie wissen, Gelb giebt, also geht hier der weiße Ring in Gelb über, an welches da, wo der Abstand 9 ist, ganz reines Roth sich anschließt, indem selbst der orangefarbene Ring sich so weit nicht erstreckt. Der zweite violette Ring fängt bei dem Abstande 10 an und geht bis 14, der zweite blaue geht von $10\frac{3}{4}$ bis $15\frac{3}{4}$, der zweite grüne von 12 bis 18, der gelbe von 13 bis $19\frac{3}{4}$, der orange von 14 bis $20\frac{1}{2}$, der rothe von $14\frac{3}{4}$ bis $22\frac{1}{4}$. Da also, wo der Abstand nur 10 bis $10\frac{3}{4}$ ist, sieht man bloß violette Strahlen, bis gegen den Abstand 12 nur violette und blaue gemischt; bei dem Abstande 13 und 14 ein aus Violett, Blau, Grün, gemischtes Blau; bei 16 eine Farbenmischung, welcher Violett und Blau fehlen, die also aus Grün schon in Gelb übergeht; bei 18 ein aus Grün, Gelb, Orange, Roth entstehendes Gelb; bei 19 und 20 sind Gelb, Orange, Roth des zweiten Ringes schon mit Violett des dritten gemischt. Diese Nachweisung der Farben des zweiten Ringes stimmt so vollkommen mit den Beobachtungen überein, daß auch diese das Grün als schwach und weißlich angeben (weil bei 15 fast alle Farbenstrahlen hervorgehen,) und das Roth als mit hinübergehend in den dritten violetten Ring. Bei dem Abstande 20 nämlich kömmt das dritte Violett noch mit vielem Roth der zweiten Ordnung zusammen; bei 22 bis 24 ist Blau theils aus Violett und Blau, theils aus diesen Farben und Grün gemischt; bei 25 verbinden sich Blau, Grün, Gelb zu einem schönen Grün; ebenso schön tritt das Gelb hervor; aber das Roth, welches bei 28 bis 31 am lebhaftesten erscheinen sollte, ist schon stark mit dem vierten Violett, welches bei 26 anfängt, und Blau, welches bei 29 anfängt, gemischt. Hier fangen nun die Ringe der nächsten Ordnung an, so stark auf einander zu fallen, daß das Violett und Blau der vierten Ordnung gar nicht erscheint; denn

erst bei dem Abstand $34\frac{3}{4}$ endigt sich völlig der dritte rothe Ring, und da der vierte violette Ring sich sogar schon früher endigt, so tritt bei 34 nur Blau und Grün, bei 36 bis 38 eine Mischung aus dem Gelb der vierten und dem Violett oder Violett und Blau der fünften Ordnung zu Grün gemischt hervor; bei 40 bis 42 ist das Orange und Roth der vierten Ordnung mit dem Blau der fünften Ordnung gemischt; und da das Roth der vierten Ordnung sich bis $47\frac{3}{4}$ erstrecken sollte, wo zugleich das Gelb der fünften und das Violett und Blau der sechsten Ordnung hervorgeht, so erhellt, daß die Ringe, die mit Roth und Grün wechselnd noch als fünfte und sechste Ordnung hervorgehen, nun je mehr und mehr unkenntlich, sich allmählig in Weiß verlieren müssen.

Wenn ich diese Nachweisung etwas zu umständlich verfolgt zu haben scheine, so, hoffe ich, werden Sie dies verzeihlich finden, da die sich hier ergebende Uebereinstimmung zwischen dem, was die Farbenmischung ergeben soll, und was die Erfahrung zeigt, zu merkwürdig ist, um unbeachtet zu bleiben. Sie übersehen nun auch leicht, warum im einfarbigen Lichte die Zahl der kenntlichen Ringe größer war, weil nämlich dieses Zusammenfallen der Ringe verschiedener Ordnungen hier nicht eintreten konnte. Man ist im ersten Augenblicke geneigt, zu glauben, daß bei gleichfarbigem Lichte eine noch viel größere Reihe von Farbenringen hervorgehen müßte, weil eine Farbenmischung, die Weiß geben könnte, nicht eintreten kann; aber der Grund, warum doch auch hier endlich eine gleichmäßige farbige Erleuchtung kenntlich wird, ist leicht einzusehen. Wenn wir auch einen sehr begrenzten Strahl einfarbigen Lichtes, zum Beispiel grünen Lichtes, auffallen lassen, so wissen Sie doch schon, daß dieser immer noch aus einer Folge von ungleich brechbaren, wenn gleich nur sehr wenig an Brechbarkeit verschiedenen Strahlen besteht, und genau so wie die ungleiche Brechbarkeit in unmerklichen Uebergängen selbst im grünen Strahle da größer ist, wo das grüne Licht auch nur wenig dem blauen näher liegt, so ist auch jener für die Entstehung der Ringe erforderliche Abstand selbst für grünes Licht nicht überall gleich, sondern etwas geringer für den dem blauen Lichte näheren Theil des grünen Strahles. Für die Mitte des grünen Strahles kann man 5 Milliontel als den Abstand der besten Reflexion angeben, dagegen $4\frac{3}{4}$ für einen schon völlig blauen Licht-

strahl; wir werden also ein Licht noch für vollkommen grün ansehen, so wohl wenn 5 als wenn 4,9 Milliontel dem Abstande der besten Reflexion entsprechen; aber diese beiden grünen Lichtstrahlen geben im strengsten Sinne genommen schon ungleiche Farbenringe dem Durchmesser nach, wenn auch, so weit das Urtheil unseres Auges geht, nicht der Farbe nach. Die Mitte der aus jenen beiden Lichtstrahlen entstehenden Ringe entspräche den Abständen 5 und 4,9; 15 und 14,7; 25 und 24,5 und so weiter; und hier käme schon der zwanzigste Ring der einen Licht-Art fast genau auf die Mitte zwischen den Ringen der andern Licht-Art, so daß dennoch endlich ein Unkenntlichwerden der Ringe einträte. Dieses erfolgt, bei der Schwierigkeit ein so gleichförmiges Licht zu erhalten, leicht noch früher, und es ist ein Zeichen, daß man sehr gleichartiges Licht habe, wenn die Zahl der Ringe groß ist.

Aber nicht bloß die Luftschichte zwischen zwei Objectivgläsern ist geeignet, diese Farben zu zeigen, sondern auch, wenn der Zwischenraum mit Wasser gefüllt ist, beobachtet man eben solche Farbenringe, welche aber nun von viel geringerem Durchmesser sind, und mattere Farben, jedoch in eben der Ordnung zeigen. Und ebenso ist jedes dünne Blättchen eines Körpers, jede dünne Schichte eines Flüssigen, geeignet, gewisse Farbenstrahlen zurückzuwerfen und die übrigen durchzulassen, ja selbst im luftleeren Raume zeigen sich ebenso Farbenringe. In allen Fällen aber ist die Art der zurückgeworfenen Strahlen nach der Dicke der Schichte verschieden, und zwar so verschieden, daß dieselben Farbenstrahlen bei der dreifachen, fünffachen, siebenfachen, neunfachen, elffachen Dicke zurückgeworfen werden, wenn sie bei der einfachen Dicke zurückgeworfen wurden, und daß dagegen da, wo die zweifache, vierfache, sechsfache, achtfache, zehnfache Dicke statt findet, alle diese Farbenstrahlen durchgelassen werden. Jene einfache Dicke ist allemal kleiner bei dem violetten Strahle und nach der Ordnung größer bei den übrigen; auch ist das Verhältniß für die verschiedenen Farbenstrahlen immer gleich, so daß, wenn 4 Milliontel als dem äußersten Violett, $5\frac{1}{4}$ als der Grenze des Grün und Gelb, $6\frac{1}{3}$ als dem äußersten Roth entsprechend bei der Luft bekannt sind, man diese Zahlen nur mit dem Brechungsverhältnisse zu multipliciren braucht, um bei andern Körpern die jeder Farbe angemessene Dicke zu finden;

für Wasser sind $\frac{3}{4}$ jener Dicken, für Glas ungefähr $\frac{2}{3}$, für Terpentin=Oel ungefähr $\frac{2}{3}$ anzunehmen, und man braucht nur die genauen Zahlen für die Brechungsverhältnisse zu setzen, um die Angaben genau zu erhalten.

Andre Fälle, wo wir die Farben dünner Körper beobachten.

Um nicht allzu lange bei diesen Erscheinungen zu verweilen, will ich andre Fälle, wo sich uns diese Farben zeigen, nur kurz erwähnen, und dann zur Theorie ihrer Entstehung übergehen. Wir sehen diese Farben oft da, wo bei Körpern, die aus Blättchen bestehen, entweder diese Blättchen dünne genug sind, um uns Farben einer niedrigen Ordnung, wo nämlich noch keine Mischung aller Farben eintritt, zu zeigen, oder wo zwischen den Schichten sich so dünne Luftschichten eingeschlossen befinden. Diese Körper spielen Farben, das heißt, die Farbe ändert sich mit der Stellung des Auges; denn ich habe schon oben erwähnt, daß die Ringe bei schief zurückgeworfenen Strahlen etwas größer werden, oder daß einem gleichen Abstande Farben einer niedrigern Ordnung entsprechen, welches offenbar, wenn der Abstand für zwei ganze Flächen gleich ist, einem Hinübergehen der Farben dritter Ordnung zu denen zweiter Ordnung bei größerer Schiefe der Zurückwerfung entspricht. Der Farbenwechsel, den wir bei dem ersten Experimente mit Terpentin=Oel auf Wasser beobachteten, geht vorzüglich aus der allmählig sich ändernden Dicke der Oelschichte hervor, und ein zu großer Tropfen giebt keine schöne Farben mehr, wenn die Dicke der Schichte so groß ist, daß schon die vierte oder fünfte Farbenreihe hervorgehen müßte. Die Seifenblasen sind als höchst dünne Wasserschichten so gut geeignet, diese Farben zu zeigen, und da bei großen Blasen die Wasserschichte oben merklich dünner als unten ist, so gehören die Farben oben den geringeren Dicken, den kleineren Ringen in den vorhin betrachteten Fällen, an; wenn bei längerer Dauer die Blase oben immer mehr sich verdünnt, so zeigt sich oben der schwarze Fleck, so wie in der Mitte der Glaslinse, und die Ringe der ersten und zweiten Ordnung umgeben ihn; aber das Zerspringen der Blase ist dann auch nicht mehr lange entfernt.

Anwandelungen des leichten Durchgangs und der leichten Zurückwerfung.

Diese wunderbare Eigenschaft der Lichtstrahlen, bei gewisser Dicke der Schichte gänzlich durchgelassen, bei der doppelten, dreifachen, vierfachen Dicke wieder ganz durchgelassen zu werden, aber eine Zurückwerfung zu erleiden, wenn die Dicke ein Halb, drei Halbe, fünf Halbe u. s. w. jener Dicke ist, diese hat eigentlich der Newton'schen Vorstellung von ungleichen, in gewissen Perioden wiederkehrenden Zuständen der Lichttheilchen ihre Entstehung gegeben. In der That, wenn wir zuerst nur von einer Art Farbenstrahlen, zum Beispiel von den violetten, reden, so scheint es bloß der reine Ausspruch der Erfahrung zu sein, daß Lichttheilchen, die in eine Luftschichte eingetreten sind, sich, nachdem sie 4 Milliontel Zoll durchlaufen haben, am fähigsten für die Zurückwerfung zeigen, nachdem sie 8 durchlaufen haben, gar nicht fähig der Zurückwerfung sind, nachdem sie 12 oder 20 oder 28 oder 36 durchlaufen haben, wenn sie nämlich dort eine Grenze der Luftschichte antreffen, der Reflexion fähig, nachdem sie 8 oder 16 oder 24 oder 32 durchlaufen haben, der Reflexion nicht fähig sind. Diese Anwandelungen leichtern Durchgangs oder leichterer Zurückwerfung kehren also auf gleiche Art nach einer Periode, die 8 Millionteln eines Zolles entspricht, wieder; und wenn man dies die Länge einer Anwandelung für den äußersten violetten Strahl des prismatischen Farbenbildes nennt, so ist $10\frac{1}{2}$ die Länge der Anwandelung für den Strahl an der Grenze des Grün und Gelb, $12\frac{3}{4}$ die Länge der Anwandelung für das äußerste Roth. Daß zwischen diesen Zuständen der leichtesten Reflexion und gar keiner Reflexion sich alle Mittelzustände, alle Phasen leichterer und minder leichter Zurückwerfung finden, ist leicht zu erachten.

Nach Newton's Vorstellung muß man dies so auffassen. Indem die in allen möglichen Zuständen, in allen verschiedenen Phasen der Anwandelungen, an eine Trennungsfläche zweier Körper gelangenden Lichttheilchen eine ungleiche Fähigkeit haben, diese Trennungsfläche zu durchdringen, werden die vorzüglich durchgelassen, die in dem Zustande der leichteren Durchlassung sich befinden. Wären sie alle genau in dem vollkommensten Zustande der leichten Durchlassung, so würden sie in der Luft nach Zurück-

legung eines Raumes von 8, 16, 24, genau wieder im vollkommensten Zustande der leichtesten Durchlassung sein, also an der Rückseite der Luftschichte, beim Uebergange in den andern Körper gar keine Zurückwerfung leiden, dagegen nach Zurücklegung eines Raumes von 4, 12, 20, 28, am vollkommensten der Zurückwerfung fähig sein; an diesen letztern Stellen also sähe das die zurückgeworfenen Strahlen empfangende Auge die hellen Ringe, an jenen die dunkeln. Hiernach läßt sich die ganze Erscheinung übersehen, wenn man bloß auf diejenigen Lichttheilchen Rücksicht nimmt, die beim Eintritte in die dünne Schichte sich beinahe in dem vollkommensten Zustande des leichtesten Durchgangs befanden, oder, wie man es ausdrückt, in der Phase des allerleichtesten Durchgangs waren. Gewiß aber werden beim Eintritte in die dünne Luftschichte auch solche durchgelassen, die sich schon ziemlich weit von dieser genauesten Phase des leichten Durchgangs entfernt befinden, und diese gehen durch die zweite Oberfläche auch da, wo wir die beste Reflexion sehen, dennoch durch. Aus diesem Grunde sind die im durchgelassenen Lichte kenntlichen Farbenringe mit vielem weißen Lichte gemischt, weil Strahlen aller Farben, sofern sie sich an der zweiten Oberfläche nicht im vollkommensten Zustande der leichtesten Reflexibilität befinden, durchgelassen werden, und diese Ringe sind nur darum farbig, weil ihren Lichttheilchen jene bestimmten Farben fehlen.

Dies wird hinreichen, um von Newton's Vorstellung über den wechselnden Zustand der Lichttheilchen einen Begriff zu geben.

Erklärung dieser Erscheinungen nach der Undulationstheorie.

Nach der Undulationstheorie legten wir den Aetherwellen eine abwechselnde Verdünnung und Verdichtung bei, und machten die Bemerkung, daß zwei Lichtstrahlen sich verstärken, wenn die Verdichtung in der einen Lichtwelle mit der Verdichtung in der andern zusammentrifft; aber wir müssen offenbar auch hinzufügen, daß eine Interferenz, eine gegenseitige Zerstörung der Wellen eintreten kann, wenn Verdichtung der einen mit Verdünnung der andern fortwährend zusammentrifft. Wir wollen sehen, wiefern so etwas bei unserm Phänomene wirksam sein kann.

Daß an jeder Oberfläche, wo die Lichtwelle in ein neues Medium eindringt, sich zugleich eine reflectirte Welle bildet, wissen Sie. Da wo so sehr nahe an einander zwei zurückgehende Wellen an zwei nur um wenige Milliontel eines Zolles von einander entfernten Oberflächen entstehen, da kann diese Verstärkung sowohl als diese Auslöschung sichtbar werden, und die Erklärung der Farbenringe liegt hier sehr nahe. Aber ehe wir weiter gehen, muß ich eine Bemerkung angeben, auf welche hier die Theorie der Wellenbewegung führt. Allerdings entsteht allemal eine zurückgehende Welle sowohl da, wo die Lichtwelle in ein dünneres Medium, als da, wo sie in ein dichteres Medium eintritt, jedoch mit dem Unterschiede, daß im einen Falle eine halbe Undulationsphase verlohren geht. Beim Uebergange in einen dünneren Körper fängt die zurückgehende Welle erst an, nachdem die herankommende ein wenig in den dünneren Körper eingedrungen ist, und obgleich es nicht strenge nachzuweisen ist, daß dabei ganz genau eine halbe Undulation, eine halbe Wellenlänge, verlohren geht, so scheint doch die Erfahrung für diese genau halbe Wellenlänge zu entscheiden. Nehmen wir dieses an, so entsteht erstlich eine Interferenz da, wo beide Oberflächen der dünnen Luftschichte einander so nahe sind, daß ihr Abstand selbst gegen die geringe Länge einer Lichtwelle unbedeutend ist; denn hier geht an der ersten Fläche die Welle, die sich um eine halbe Undulation verändert hat, und an der zweiten die unveränderte Welle zurück; war also der antreffende Theil der Welle ein verdichteter, so geht dort ein verdünnter, hier ein verdichteter zurück, und weil diese sich gänzlich ausgleichen, so geht gar keine Erleuchtung bewirkende Lichtwelle zurück, indem bei dem antreffenden verdünnenden Wellentheile und so bei jedem einzelnen Theile der Welle die beiden neu entstehenden Wellen sich ebenso zerstören; — da also, wo die Glasflächen einander berühren, erhält das Auge kein zurückgeworfenes Licht, weil die zwei Wellen sich zerstören; das durchgelassene Licht, welches vermöge der eindringenden Welle entsteht, leidet dabei nur eine geringe Schwächung. Zweitens: da, wo die Luftschichte die Dicke einer Viertelwellenlänge hat, entsteht ein verstärktes reflectirtes Licht. Um dies deutlich zu übersehen, wollen wir die Wellenlänge in vier Theile zerlegen, und die Grenze derselben als den am meisten verdichteten, mittlern, am meisten

verdünnten, mittlern Theil bezeichnen. Da nun die vordringende und die vom festen Körper, hier von der zweiten Oberfläche der Luftschichte, reflectirte Welle sich in Rücksicht der Ordnung dieser Theile nicht ändern, die an der ersten Oberfläche der Luftschichte zurückgehende dagegen gleichsam plötzlich in das Entgegengesetzte des Zustandes übergeht; so ist leicht zu übersehen, daß für eine Dicke $= \frac{1}{4}$ Wellenlänge, der eindringende am meisten verdichtete Theil die zweite Seite der Luftschichte erreicht, wenn der von mittlerer Dichtigkeit an der ersten Seite eindringt, daß der am meisten verdichtete Theil wieder durch die erste Oberfläche zurückgeht, wenn der am meisten verdünnte Theil dort antrifft und dort eine rückgehende Welle erregt, die sogleich mit ihrem am meisten verdichteten Theile in eben dem Momente hier ausgeht; so gehen also nun zwei verdichtete Wellentheile, die einen verstärkten Eindruck bewirken, zugleich von hier aus, und geben dem die reflectirten Strahlen empfangenden Auge den Anblick einer Licht=Erscheinung oder einer Farben=Erscheinung. Drittens: da wo die Dicke der Luftschichte eiue halbe Wellenlänge beträgt, ist die von der zweiten Oberfläche zurückkehrende Welle, weil ihr Weg vorwärts und rückwärts eine ganze Wellenlänge beträgt, bei der Ankunft an der ersten Oberfläche in eben dem Zustande, wie die eben dort eintretende; aber da die letztere hier eine in entgegengesetztem Zustande befindliche Welle erregt, so hebt Verdichtung der von der zweiten und Verdünnung der von der ersten Welle erregten zurückkehrenden Welle sich auf, und diese Interferenz hindert an dieser Stelle die Licht=Erscheinung, man sieht hier kein reflectirtes Licht. Viertens: bei einem Abstande von $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{7}{4}$, $\frac{9}{4}$ einer Wellenlänge geht es wie bei dem Abstande $= \frac{1}{4}$, und bei einem Abstande $= \frac{1}{2}$, $= 1$, $= \frac{3}{2}$, $= 2$, $= \frac{5}{2}$, geht es ebenfalls gleichmäßig, also sieht das Auge in jenen Fällen Lichtverstärkungen, in diesen Fällen dagegen bringen die Interferenzen Dunkelheit hervor. Endlich muß ich noch den Fall betrachten, wo die Dicke der Luftschichte etwas größer als $\frac{1}{4}$ und kleiner als $\frac{1}{2}$ ist. Hier ist die von der zweiten Oberfläche zurückkehrende Welle nicht genau in dem Zustande, in welchem sich die, sich mit ihr verbindende von der ersten Oberfläche zurückgehende befindet; indeß so lange die Dicke nicht viel von $\frac{1}{4}$ Wellenlänge abweicht, verstärken sie sich dennoch einander, aber das Licht erscheint hier minder lebhaft; —

also haben die hellen Ringe einige Breite und sind in der Mitte am hellsten, gegen die Orte zu aber, wo die Dicke wenig von $\frac{1}{2}$ verschieden ist, wird der Licht-Eindruck, obgleich noch keine vollkommene Interferenz eintritt, zu schwach, um das Auge zu rühren, und deshalb haben auch die dunkeln Ringe einige Breite.

Hiedurch werden die durch Zurückwerfung entstehenden Ringe vollkommen erklärt, aber es scheint, daß das durchgegangene Licht keine Ringe bilden könne, da die zurückgehenden Wellen gleich gut statt finden, sie mögen durch Interferenz unmerklich werden oder nicht. Diesem Zweifel begegnet Young auf folgende Weise. Offenbar findet auch da, wo die Lichtwelle nach der Zurückwerfung wieder aus der ersten Oberfläche hervordringt, eine neue Reflexion statt. Auch das durchgehende, auf die andre Seite beider Glasscheiben gelangende Licht besteht also aus zwei Wellen, einer gradezu durchgehenden, und einer an der Hinterfläche und dann an der Vorderfläche abermals zurückgeworfenen, deren Zusammenkommen für den Abstand $= \frac{1}{2}$ Wellenlänge ich hier noch betrachten will. Hier ist der von der ersten Oberfläche beim zweiten Antreffen an dieselbe reflectirte Wellentheil genau um eine ganze Wellenlänge dem gradezu durchgehenden voraus gewesen, es treffen also ein nach zweimaliger Zurückwerfung am festen Körper in der zweiten Oberfläche ankommender und ein gradezu durchgehender ganz gleicher Wellentheil zusammen, und das Auge sieht hier verstärktes Licht.

Wenn die dünne Schichte keine Luftschichte ist, sondern eine Wasserschichte, so haben die Lichtwellen nur $\frac{3}{4}$ der Länge, die sie in der Luft hatten, indem, wie Sie früher gesehen haben, das Brechungsverhältniß 1 zu $\frac{3}{4}$, wie es bei Luft und Wasser statt findet, eben daher entsteht, weil die Geschwindigkeit des Lichtes von 1 auf $\frac{3}{4}$ abnimmt. Die Lichtwellen von einerlei Farbe behalten aber gleiche Zeitperiode, ihre Länge nimmt also auf $\frac{3}{4}$ ab, und die Interferenzen finden diesen kleineren Wellenlängen entsprechend statt; und grade so ergeben es schon die Newton'schen Messungen der Ringe.

Schwieriger würde es sein, hier den Grund nachzuweisen, warum die Halbmesser der Ringe bei schiefem Durchgange der Strahlen sich vergrößern, und da ich ohnehin schon so lange hiebei

verweile, so will ich mich bloß auf Fresnel's Autorität, daß die Theorie der Undulationen dieses erkläre, berufen.

Ich habe bisher nur von einer bestimmten Wellenlänge gesprochen, aber Sie wissen schon, daß wir jedem Farbenstrahle eine eigenthümliche Wellenlänge zuschreiben und übersehen nun auch, daß die mit jedem einzelnen Farbenstrahle angestellten Experimente uns diese verschiedenen Wellenlängen kennen lehren. Jene 4 Milliontel Zoll für die äußersten violetten, und $6\frac{3}{8}$ Milliontel Zoll für die äußersten rothen Strahlen sind das Viertel der Wellenlänge, so daß ich nun nach Herschel's Bestimmung 26,6 Milliontel für das äußerste Roth, 21,9 für die an der Grenze des Gelb und Grün*) 16,7 für die an der Grenze des äußersten Violett liegenden Strahlen als ganze Wellenlänge angeben kann. Von der ersten Art Wellen kommen 37640, von der letztern 59750 auf 1 Zoll, und 458 Billionen für die ersten, 727 Billionen für die letzten, geben die Zahl der Vibrationen in einer Secunde an. — Sie werden in der Folge sehen, daß die Schlüsse der Undulationstheorie uns noch zu andern hiemit übereinstimmenden Angaben für die Wellenlänge der verschiedenen Farbenstrahlen führen; und so wenig wir es vergessen dürfen, daß diese Theorie über die ungleiche Brechung der verschiedenen Farben keinen genügenden Aufschluß giebt, und daß nach ihr die ungleichen Grade der Farbenzerstreuung völlig unerklärt bleiben; so müssen wir doch gestehen, daß in den eben durchgeführten Betrachtungen und in denen über die Beugung des Lichtes, worauf ich bald komme, eine große Empfehlung dieser Theorie liegt.

Natürliche Farben der Körper.

Hieher gehört nun auch eine schon von Newton gemachte Bemerkung über die natürlichen Farben der Körper, die von der

---

*) Für eine Stelle im Farbenbilde, die etwas mehr nach dem Grün zu liegt, giebt Fraunhofer 19,45 Milliontel des Pariser Zolles = 20,74 Milliontel des englischen Zolles, für die Grenze des Orange und Gelb 21,75 Milliontel pariser Zoll = 23,2 Milliontel englische Zoll, statt daß Herschel 23,5 Milliontel englische Zoll hat. — Also hinreichend übereinstimmend.

Richtigkeit der einen oder andern Hypothese unabhängig ist. Alle Körper bestehen gewiß aus getrennten Theilchen; denken wir uns diese als dünne Blättchen, die an ihrer Vorderseite und Hinterseite das Licht zurückwerfen, so wird sich die der Dicke der Blättchen und ihrer Brechungskraft angemessene Farbe als eigenthümliche Farbe des Körpers zeigen. Wenn die Blättchen, von denen die Farbe abhängt, dichter sind, als die die Zwischenräume füllende Materie, oder wenn jene das Licht mehr brechen als diese, so wird die Farbe der Körper bei verschiedenen Auffallswinkeln nicht merklich verschieden sein, und dieses muß also bei den meisten Körpern, die keinen Farbenwechsel bei ungleicher Stellung des Auges zeigen, statt finden. Hiemit ist die Lücke ausgefüllt, die wir oben in Beziehung auf diesen Gegenstand noch übrig ließen.

Man hat hieran Schlüsse geknüpft, um die Dicke dieser die Farben bestimmenden Körpertheilchen anzugeben. Ein Glasblättchen von 16 Millionteln eines Zolles dick giebt schon das Grün der dritten Ordnung, und da die kleinsten Theile der Körper vielleicht das Licht noch stärker brechen, (welches zu vermuthen sich in der Folge Gründe finden,) so können diejenigen, welche das Blau oder Violett der zweiten Ordnung darstellen, noch aus viel feinern Theilchen, nämlich so getrennt, wie wir hier annehmen, bestehen. Doch sind dies Rechnungen, die nur schwach begründet sind, und ich führe sie bloß an, um das verständlich zu machen, was man wohl als Folgerung über die Größe der neben einander liegenden Theilchen gesagt hat.

Funfzehnte Vorlesung.

Widerlegung eines Einwurfs gegen die Undulationstheorie.

Die Undulationstheorie hat oft den sehr scheinbaren Vorwurf erleiden müssen, daß sie für eines der einfachsten Phänomene, für die scharfe Begrenzung des Schattens, keine genügende Erklärung gebe. In allen andern Fällen nämlich, sagte man, wo wir Wellen durch eine Oeffnung **AB** (**Fig. 112.**) gehen sehen, bringen sie keineswegs Wellen, die sich genau durch die Linien **AE, BF** begrenzen, hervor, sondern über diese durch den Mittelpunct der Wellen und die Grenze der Oeffnung gezogenen Linien hinaus erstrecken sich die Wellen; bei den Lichtwellen hingegen scheint die strenge Begrenzung des Schattens ein völliges Aufhören der Lichtwellen an eben jenen Linien, die hier die Schattengrenze des die Oeffnung einschließenden Körpers bezeichnen, anzudeuten.

Diese Abweichung von den Gesetzen der Wellen ist indeß nur scheinbar, da eine zwar schwache, aber doch merkliche Licht-Erscheinung auch über die strengen Grenzen des Schattens hinaus statt findet, und sich Gründe, warum diese nur schwach und nur wenig über die Schattengrenze hinaus, in den Erscheinungen der Beugung oder Inflexion des Lichtes, sichtbar ist, angeben lassen. Was diesen letzten Umstand betrifft, so ist es sehr bekannt, daß Wasserwellen, die von **C** (**Fig. 117.**) ausgehend, die Oeffnung **AB** erreichen, dort neue Wellen **DEF** erregen, welche sich von der Oeffnung nach allen Seiten verbreiten und nicht so auffallend stärker bei **E** als bei **D** und **F** sind; aber es ist auch bekannt, daß schon bei den Schallwellen, wo allerdings die Fortpflanzung nach **D** und **F** merklich ist, doch der Schall in **E** viel lebhafter, in **D, F** schwächer gehört wird. Diese Erfahrungen deuten darauf hin, daß zwar jede Wellenbewegung die Eigenschaft, sich von der Oeffnung, als von einem Mittelpuncte, zu verbreiten, behält, daß aber die Stärke der Erschütterung desto schneller jenseits der Linien **AH, BK**, abnimmt, je größer die Fortpflanzungsbewegung der Wellen

ist, und daß also auch die Lichtwellen sich freilich so wie DEF fortpflanzen mögen, aber mit einer solchen, von E nach D und von E nach F sehr schnell, so schnell erfolgenden Abnahme der Vibrationsgeschwindigkeit, daß nur unmittelbar jenseits AE, BE, noch Erleuchtungs-Erscheinungen kenntlich sind.

Beugung des Lichtes. Versuche im frei auffallenden Lichte.

Diese schwachen Lichtphänomene, die sich unmittelbar an die eigentliche Schattengrenze anschließen, sind nun diejenigen, die man schon lange der Beugung des Lichtes zugeschrieben hat. Um zu zeigen, daß sie selbst im vollen Sonnenlichte nicht ganz unmerklich sind, dienen folgende von Flaugergues angegebene Versuche, die freilich zum Theil einiger Täuschung, vermöge des seitwärts vom hellen Himmel einfallenden Lichtes, unterworfen sind, aber doch den Erfolg der Beugung schon zeigen. Wenn man eine Kugel, am besten mit Ruß geschwärzt, damit kein Licht am Rande der Erleuchtung zurückgeworfen werde, frei in der Sonne aufhängt, so sollte erst in einer Entfernung gleich dem 107 maligen Durchmesser, der Schattenkegel sich endigen, und erst wenn man das Auge noch etwas weiter entfernt in die Axe des Schattenkegels bringt, sollte die Sonne, als scheinbar größer, die ganze dunkle Kugel umgeben; aber schon in einer geringern Entfernung findet man die Erleuchtung in der Mitte des Schattens stark, und stärker als am Rande des Schattens, und auch das in die Nähe der Schattengrenze gebrachte Auge empfängt schon Strahlen von der Sonne, wenn es gleich noch innerhalb der geometrischen Grenze des Schattens, nämlich innerhalb der dem graden Fortgange der Strahlen entsprechenden Grenze des Schattens ist. Also werden Lichtstrahlen an dem Rande des dunkeln Körpers von der graden Linie abwärts, und zwar hier nach dem Innern des Schattens zu abgelenkt.

Versuche, die hiemit ebenfalls in Verbindung stehen, sind folgende. Wenn man einen ziemlich schmalen Körper, der jedoch breiter als die Lichtflamme ist, vor dieser so hält, daß die Lichtflamme (gegen die man nur mit einem Auge, während das andre geschlossen ist, sieht,) davon verdeckt wird; so sieht man gleichwohl lichte Streifchen neben dem Orte der Lichtflamme unmittelbar an den

Grenzen des schmalen Körpers. Diese hellen Linien sind nicht etwa Spiegelung am Rande des Körpers, denn sie erscheinen an der schärfsten Messerschneide, wenn auch die Seite des Messers, die gegen das Auge gekehrt ist, gar kein Licht empfängt. Diese Lichtlinien werden immer glänzender, je weniger die scheinbare Breite des dunkeln Körpers die Breite der Lichtflamme übertrifft, und man kann dieses an einer Messerklinge zeigen, indem man sie nach und nach mehr geneigt gegen die Gesichtslinie hält. Hier kommen also (Fig. 118.) Lichtstrahlen von **A B** nach **O**, obgleich der ganze Raum zwischen **E** und **F** im Schatten liegen sollte; sie werden also bei **C, D**, gebeugt, von ihrer graden Richtung abgelenkt. Eben solche Lichtlinien sieht man am Rande jedes die zum Auge hingehenden Lichtstrahlen unterbrechenden dunkeln Körpers, und zwar so, daß sie mit dunkeln Linien, die diesen Rand umgeben, abwechseln. Daraus entsteht, wenn man einen schmalen Spalt vor dem Auge gegen die Lichtflamme hält, die Erscheinung dunkler und heller Linien, parallel mit den Seiten des Spalts, und endlich, wenn dieser einen gewissen Grad von Engheit erreicht, eine dunkle Linie in der Mitte, wo doch grade das Licht am freiesten scheint durchgehen zu müssen.

Versuche im dunkeln Zimmer.

Alle diese Erscheinungen gehören zu denen, die man der Beugung des Lichtes zuschreibt; aber wenn man sie so beobachtet, so kann man dem Zweifel, welchen Antheil die Undeutlichkeit des Sehens hieran hat, nicht ganz ausweichen, und es ist daher wichtig, die Erscheinungen auf einer weißen Tafel wahrzunehmen, welches nur im dunkeln Zimmer gut geschehen kann. Hier kann man nun auch alles seitwärts einfallende Licht vermeiden, wenn man das Sonnenlicht durch eine kleine Oeffnung, zum Beispiel von $\frac{1}{2}$ Linie Durchmesser, einfallen läßt, und in bedeutender Entfernung diesen schmalen Lichtstrahl durch eine noch engere oder eben so enge Oeffnung durchläßt; denn wenn hier zum Beispiel (Fig. 119.) **A B** 10 Fuß, oder 2880 halbe Linien beträgt, so ist der Winkel, den die äußersten Strahlen **C B a, A B b** mit einander machen, nur wenig über eine Min. und damit die Grenzen des Schattens und Halbschattens völlig bestimmt. Hier zeigen sich nun, wenn man in der Gegend **b** einen dunkeln Körper in den Sonnenstrahl hält

und seinen Schatten auf eine weiße Tafel fallen läßt, helle Linien mit der Grenze des Schattens parallel, die jedoch da viel schöner hervortreten, wo zwei Schatten nahe an einander gerückter Körper einander gleichsam begegnen. Man bedient sich am besten hiezu zweier in eine grade Schärfe endigender Metallplatten, deren Ränder entweder parallel oder gegen einander geneigt einander genähert werden können. Ist hier die Entfernung beider Schärfen noch ziemlich groß, so zeigt sich, in jenem beschränkten Sonnenstrahle gehalten, der Schatten beider Schärfen mit hellen Linien umgeben; bei größerer Annäherung bemerkt man, wenn der Schatten in nicht allzu geringer Entfernung hinter dem Spalte auf einer Tafel aufgefangen wird, deutlich, daß diese den Schatten umgebenden Linien farbig sind, und immer mehr sich von der Schattengrenze entfernen; rücken die Schärfen einander noch näher, so rücken die farbigen Linien, die dem einen Schatten angehören, in den andern Schatten hinein. Wenn die Schärfen einander bis ungefähr auf $\frac{1}{4}$ Linie nahe gekommen sind, so hat der erhellte Raum zwischen den beiden Schatten seine geringste Breite erreicht, und bei noch geringerm Abstande verbreitert er sich wieder, erhält aber dann eine dunkle Schattenlinie in der Mitte.

Wenn man diese Erscheinungen auf der weißen Tafel einmal gesehen hat, so ist man hinreichend überzeugt, daß nicht etwa nur eine Täuschung durch undeutliches Sehen statt findet, und kann sich dann die Erscheinungen schöner verschaffen, wenn man die Schatten auf ein matt geschliffenes Glas fallen läßt, und dieses mit einer Vergrößerungslinse von der Hinterseite her betrachtet; ja wenn man dies mit Aufmerksamkeit thut, so sieht man, daß es gar nicht erst nöthig ist, die Schatten und Farbenränder auf dem matten Glase aufzufangen, sondern die Linse zeigt, auch unmittelbar die Strahlen auffangend, die Erscheinung dem Auge so, wie sie auf einem in ihrem Brennpuncte gehaltenen matten Glase oder auf einer im Brennpuncte gehaltenen andern Tafel erscheinen würden, und man hat den Vortheil, hier durch die directen Strahlen eine viel schönere Farben-Erscheinung zu erhalten, als die ist, die sich auf dem matt erleuchteten Papiere, oder dem die Strahlen unvollkommen durchlassenden Glase darstellt.

Vorzüglich schön zeigt sich die Erscheinung dieser Farbenränder, wenn man die beiden Metallplatten mit gegen einander geneigten Schärfen einander so nähert, daß sie sich am einen Ende berühren und am andern etwa noch $\frac{1}{2}$ Linie von einander entfernt sind. Bringt man hier die matte Glastafel, welche die an den Schärfen vorbei gegangenen Strahlen auffängt, in einer nicht zu geringen Entfernung an, oder hält auch die als Ocular dienende Linse nur so, daß man die Erscheinung ohne Glastafel gut sieht; so zeigen sich da, wo der Zwischenraum breit genug ist, drei Farbenränder an jeder der Schärfen und ihnen beinahe parallel, aber diese Farbenränder entfernen sich, da wo der Zwischenraum enger wird, mehr von der Schattengrenze und gehen gekrümmt in den entgegengesetzten Schatten hinüber. Dieses muß offenbar so sein, weil bei geringerm Abstande der beiden Schärfen allemal die Ränder sich weiter von dem Schatten, zu dem sie gehören, entfernen, also hier für die dem Scheitel des von den Schärfen gebildeten kleinen Winkels nähern Puncte eben das statt findet.

Die Farben dieser Ränder folgen einander so, daß das Violett und Blau dem Schatten selbst am nächsten liegt, das Roth am entferntesten, und eben diese Farbenfolge auch in dem schwächern zweiten und in dem noch schwächern dritten Farbenrande statt findet. Diese aus dem weißen Lichte hervorgehende Färbung läßt schon vermuthen, daß man auch hier die Erscheinung einfacher sehen muß, wenn man die durch das Prisma getrennten Farbenstrahlen einzeln auf den Zwischenraum zwischen beiden Metallplatten auffallen läßt, und schon Newton hat die Versuche so angestellt, und gefunden, daß unter sonst gleichen Umständen die Ränder im rothen Lichte am breitesten, im violetten am schmalsten waren. Biot und Pouillet haben dies noch strenger untersucht, und die Breite der Ränder oder den Abstand der mehrmals wiederholten Farben-Erscheinungen in eben dem Verhältnisse gefunden, wie die Anwandelungen, oder die ungleiche Länge der Lichtwellen es fordern. So wie bei den Newton'schen Farbenringen mehr Ringe sichtbar werden im einfarbigen Strahle, weil da die Mischung der Farben nicht den Uebergang in Weiß hervorbringt, so werden hier auch im einfarbigen Strahle mehr Farbenränder, aber immer nur einfarbig, sichtbar, und diese sind durch ganz dunkle Zwischenräume

getrennt. Fängt man die durch den engen Spalt gegangenen Lichtstrahlen in hinreichend großer Entfernung auf, so folgen die hellen farbigen Streifen sich so in gleichem Abstande, daß die Mitte jedes Streifens den Entfernungen 3, 5, 7, 9 entspricht, statt daß die Mitte der dunkeln Streifen auf die Entfernungen 2, 4, 6, 8, fällt; aber diese Entfernungen sind bei den violetten Strahlen nur 63 Hunderttel dessen, was sie bei rothen Strahlen sind, und genau so sind auch die Wellenlängen des Violett nur $\frac{167}{266} = 0{,}628$ der Wellenlängen des Roth.

Die Versuche von Biot und Pouillet geben genau an, theils wie die Erscheinungen sich ändern, wenn die Weite des Spaltes eine andre wird, theils wie man sie bei gleicher Weite des Spaltes in ungleicher Entfernung der die durchgegangenen Strahlen auffangenden Ebne sieht; ich glaube aber diese Versuche hier übergehen zu können, da sie zwar die Verschiedenheiten der Erscheinung angeben, aber doch die Erklärung der Erscheinungen nicht herbeiführen.

Erscheinungen des Schattens schmaler Körper. Erklärung derselben durch die Undulationstheorie.

Die Emissionstheorie hat keine recht genügende Erklärung für alle diese Erscheinungen und ebenso wenig für diejenigen, die ich bald noch weiter erwähnen werde, dargeboten; denn wenn man auch die Attractions- und Repulsionskräfte zugesteht, die an den Grenzen der Körper auf die Lichttheilchen einwirken und diese von ihrem Wege ablenken könnten; wenn man auch, was hier nothwendig geschehen müßte, einen Wechsel dieser Kräfte in unmerklich kleinen Entfernungen von dem Körper annimmt; so wird doch die gegenseitige Einwirkung der an beiden Seiten des Spaltes durchgehenden Strahlen gar nicht erklärt, und auch die ganz gleiche Einwirkung aller Körper bei der Beugung des Lichtes auf keine Weise mit ihrer ungleichen Einwirkung bei der Brechung in Verbindung gebracht. Es läßt sich daher wohl nicht leugnen, daß die Emissionstheorie hier einen Mangel zeigt, statt daß gerade einige hieher gehörige Erscheinungen so bestimmt für die Undulationstheorie zu sprechen scheinen, daß sie zuerst Young und Fresnel bewogen, sich für diese Theorie zu erklären.

Die Versuche, die am auffallendsten für diese Theorie sprechen, sind diejenigen, welche die Farbenstreifen in dem Schatten eines sehr schmalen Körpers betreffen. Ein solcher Schatten nämlich zeigt nicht bloß die Ränder an der äußern Seite, sondern, wenn der Körper lang und schmal ist, so ist der Schatten selbst seiner ganzen Länge nach in Farbenstreifen, die mit dunkeln Streifen abwechseln, zerlegt. Da die Erscheinungen auch hier am einfachsten sind, wenn man einfarbiges Licht anwendet, so will ich diese die ganze Länge des Schattens durchlaufenden Streifen hell und dunkel nennen, ohne jetzt die Farben-Ordnung, wie sie bei weißem Lichte entsteht, zu berücksichtigen. Läßt man das Licht durch eine kleine Oeffnung in das dunkle Zimmer einfallen, und stellt etwa 4 Fuß von dieser Oeffnung entfernt einen Körper von $\frac{3}{4}$ Linien breit auf, so giebt dieser auf einer 4 bis 5 Fuß entfernten Tafel gar keinen vollkommenen Schatten mehr, sondern der Schatten ist aus dunkeln und hellen Streifen zusammengesetzt und viel breiter als er nach dem graden Fortgange der Lichtstrahlen sein sollte. Dabei zeigt sich das Merkwürdige, daß ein an den schmalen Körper irgendwo an der einen Seite angesetztes breiteres Stück die Gestalt des Schattens auch an der andern Seite ändert; bleibt diese andre Seite grade, so erhält der Schatten dennoch eine Einbeugung, so daß seine Verbreiterung an dieser Seite von der nahen Grenze der andern Seite des Schattens abhängt, und die hellen und dunkeln Streifen gehen auch an dieser Seite in eine gleichförmige matte Erleuchtung über. Etwas Aehnliches zeigt sich, wenn man einen breiteren Körper AB (Fig. 120.) seinen Schatten auf CD werfen läßt, und nun einen Körper E innerhalb des Schattens in die Nähe der Schattengrenze bringt. So lange E nicht da war, bemerkte man bloß, daß der Schatten von C gegen D zu nicht ganz schwarz, sondern von einigen am Rande A einwärts gebeugten Strahlen erhellt war; aber nun treten abwechselnde dunkle und helle Streifen hervor, die also daraus entstehen müssen, daß die gebeugten und nun an E vorbei gehenden Strahlen dort abgelenkt werden und durch ihr Zusammenwirken mit den nach F zu von A ausgehenden Strahlen jene Wechsel von Hell und Dunkel hervorbringen.

Nach der Undulationstheorie läßt sich alles dieses auf folgende Weise erklären. Indem die Lichtwellen den Rand eines Körpers

treffen, gehen von hier die Undulationen nach allen Richtungen fort; und vermöge dieser von C aus nicht bloß nach H, (Fig. 118.) wohin das directe Licht fällt, sondern auch nach O zu gehenden Lichtwellen findet auch innerhalb des Schattens eine matte Erleuchtung statt, die jedoch schwach ist, weil die Stärke der Vibrationen von der eigentlichen Schattengrenze an in bedeutendem Maaße abnimmt. Ist aber der Körper CD schmal, so gehen ebensolche schwache Lichtwellen auch von D aus, und die Erleuchtung in FE hängt nun von dem Zusammentreffen dieser von C sowohl als von D ausgehenden Lichtwellen ab; in der Mitte des Schattens bei O, wo die Wege der Lichtstrahlen CO, DO, gleich sind, müssen diese Lichtstrahlen, wenn der Licht aussendende Punct gleich entfernt von C und D liegt, ein verstärktes Licht hervorbringen, weil die Lichtwellen hier in gleichem, also sich gegenseitig verstärkenden Zustande ankommen; in G dagegen, wo DG um eine halbe Wellenlänge größer als CG ist, findet keine Erleuchtung statt, weil die zugleich ankommende verdichtende Welle von der einen und verdünnende Welle von der andern Seite sich gegenseitig zerstören und die Wirkung, die wir Erleuchtung nennen, aufheben. Daß in einer etwas größern Entfernung von der Mitte, wo die Differenz der Wege eine ganze Wellenlänge beträgt, wieder verstärkte Erleuchtung, da wo die Differenz drei halbe Wellenlängen beträgt, ein Aufheben der Erleuchtung statt findet, erhellt nun leicht, und die Erscheinung paralleler Streifen von Hell und Dunkel ist hier vollkommen erklärt. Die eben vorhin erwähnten Versuche, wornach eine bei D angebrachte Aenderung des Randes auch den Schatten bei E ändert, sind gleichfalls leicht verständlich, und ebenso läßt sich (in Fig. 120.) übersehen, warum das Zusammentreffen der von A gradezu nach F und der von A über E nach F gelangenden Lichtwellen bei F die Lichtstreifen und Schattenstreifen hervorbringt.

Die Breite der Zwischenräume zwischen den hellen Streifen muß offenbar verschieden sein nach Verschiedenheit der Farben, denn da die Wellenlänge der violetten Strahlen geringer als die der rothen ist, so muß bei violettem Lichte der zweite helle Streifen der Mitte näher liegen, und es läßt sich nun auch angeben, wie bei weißem Lichte die getrennten Farben an einander gereihet sein und Mittelfarben hervorbringen müssen.

Auch der Umstand, daß in geringerer Entfernung hinter dem Schatten werfenden Körper die dunkeln und hellen Linien näher an einander liegen, ist ganz diesen Vorstellungen gemäß; denn damit G ein Interferenzpunct sei, muß DG (Fig. 118.) um eine halbe Wellenlänge größer als CG sein, und dazu ist ein sehr geringer Abstand von der Mitte nöthig, wenn die Ebne OG ziemlich nahe hinter CD liegt, ein größerer, wenn diese Entfernung DO größer ist. Daß die ganze Erscheinung übrigens sich nicht allzuweit von der Schattengrenze entfernt wahrnehmen läßt, beruht offenbar auf der seitwärts hin allzusehr abnehmenden Stärke der Vibrationen, und daher fällt bei dem Schatten eines breiten Körpers diese Einwirkung des am andern Rande vorbei gehenden Lichtes weg. Aber nicht bloß diese oberflächliche Zusammenstimmung zwischen der Theorie und der Erfahrung findet statt, sondern die Abmessung bei genauen Beobachtungen zeigt, daß die Unterschiede der Wege DG, CG, so strenge als die Schärfe der Beobachtung es nur erlaubt, eben die Wellenlängen angeben, die wir schon früher aus andern Bestimmungen gefunden haben.

Eine der allermerkwürdigsten Uebereinstimmungen zwischen der Undulationstheorie und den Erscheinungen der Beugung hat Arago bekannt gemacht. Wenn man die an dem schmalen Körper CD (Fig. 118.) vorbei gegangenen Strahlen, welche bei EOF die Streifen im Schatten hervorbringen, etwa bei I so durch ein sehr durchsichtiges Glas gehen läßt, daß die von D kommenden Strahlen durch das Glas gehen, während die von C kommenden ungehindert nach EF gelangen; so ändert sich die Lage der dunkeln und hellen Streifen, wenn das Glas sehr dünne ist, und sie verschwinden ganz, wenn es dicker ist. Diese Aenderung der Lage ist der veränderten Wellenlänge im Glase entsprechend; denn da die Wellen im Glase kürzer sind, so muß man darauf Rücksicht nehmen, daß drei Wellen im Glase nur ungefähr so viel Länge haben, als zwei in der Luft, daß also nicht mehr eine helle Linie in der Mitte den gleichen Wegen entsprechen kann, sondern daß man die Länge des Weges nun in Beziehung auf die im Glase vermehrte Wellenzahl berechnen muß.

Erklärung der übrigen Erscheinungen nach dieser Theorie.

Eine ähnliche Betrachtung findet für die hellen und dunkeln Ränder, welche den Schattten von außen umgeben, statt. Nach H fallen offenbar (Fig. 118.) directe Lichtstrahlen, aber auch die an C erzeugten Lichtwellen verbreiten sich dorthin, und verstärken das Licht in H, wenn die in H zugleich antreffenden Lichtwellen gleichartig sind, statt daß sie eine Schwächung, eine Interferenz, hervorbringen, wenn die Lichtwellen in ungleichartigen Zuständen zusammentreffen. Die Wechsel von Lichtlinien und Schattenlinien, die den Schatten umgeben, erklären sich hieraus; aber auch die genaue Lage, in welcher diese sich finden, muß die Theorie erklären, und hiebei finden sich manche Schwierigkeiten. Innerhalb des Schattens waren es, wenigstens wenn die Lichtwellen in genau gleichem Zustande in den beiden Endpuncten C, D, des Körpers ankamen, gewiß gleichartige Wellen, die von C und D (Fig. 118.) ausgingen, und in der Mitte bei O muß also, wenn die Strahlen bloß in der Luft fortgehen, Erleuchtung sein; aber die directe Welle, die von A aus nach H kömmt, und die von C ausgegangene können gar wohl Verschiedenheiten darbieten. Wenn A auch ein einziger Lichtpunct ist, so können wir doch nicht unbedingt behaupten, die um eine halbe Wellenlänge weiter als C gelangte directe Welle sei in eben dem Zustande, wie die von C aus um eine halbe Wellenlänge vorgerückte; — und die Beobachtung zeigt, daß diese Bedenklichkeit gegründet ist. Um nämlich die richtige Lage der ersten dunkeln, der ersten hellen Linie und so ferner für die äußere Begrenzung des Schattens zu erhalten, um sie so zu erhalten, wie es die Beobachtung fordert, ist man genöthiget anzunehmen, daß beim Antreffen an C eine halbe Undulation verlohren geht, das heißt, wenn man um den leuchtenden Punct A, den ich hier als den einzigen Lichtpunct ansehe, einen Kreis mit dem Halbmesser A C zieht, und nun Kreise um A, die immer um eine halbe Wellenlänge weiter gehen, so ist die verdichtende Welle um eine ganze Wellenlänge über C hinaus, während die neue von C ausgehende verdichtende Welle sich erst um eine halbe Wellenlänge von C entfernt hat; wenn man also die Wege A H und A C H vergleicht, so findet die

verstärkte Erleuchtung statt, da wo diese Wege um eine halbe Wellenlänge verschieden sind.

Wenn man bei diesen, den Schatten von außen umgebenden Lichtlinien und Schattenlinien die Beobachtung so anstellt, daß man die Tafel HF allmählig heran nach hf rückt oder auch sie allmählig entfernt, so ergiebt sich in jeder Stellung der Abstand des ersten hellen Randes H von der Schattengrenze, und wenn man diesen Abstand in H, in h, und so in mehreren Entfernungen von dem die Beugung hervorbringenden Puncte C sucht, so scheint es, als ob man den gebeugten Lichtstrahl verfolge, indem man den sich verstärkenden Wellen gleichsam von Punct zu Punct nachgeht. Die Berechnung der Lage dieser Durchschnittspuncte der sich verstärkenden Wellen giebt an, wo nach der Undulationstheorie diese hellen Puncte liegen müssen, oder welchen Gang anscheinend die gebeugten Strahlen nehmen müssen, und die Erfahrung stimmt hiemit überein. Wenn ich also in der Folge von dem Gange der gebeugten Strahlen zu reden Veranlassung finde, so bitte ich Sie, dies nur als einen abgekürzten Ausdruck für das, was ich so eben erklärt habe, anzusehen.

Schwieriger werden die theoretischen Untersuchungen da, wo das Licht durch einen engen Spalt geht. Es ist hier einleuchtend, daß das directe Licht durch die von beiden Rändern des Spaltes ausgehenden Lichtwellen verstärkt oder geschwächt wird, je nachdem es die gleichen oder die ungleichen Wellentheile sind, die zusammentreffen. Fresnel giebt einige Anleitung, um auch hier die hellen und dunkeln Streifen zu bestimmen, aber es scheint mir, daß hier die Schwierigkeiten der Erklärung noch nicht ganz überwunden sind. Indeß, wenn (Fig. 121.) AB den Spalt vorstellt, so erhellt, daß auch hier innerhalb des eigentlichen Schattens, der durch BD an der einen und AC an der andern Seite begrenzt wird, eine Erscheinung von Licht- und Schattenlinien statt finden muß, daß nämlich E, F, dunkle Puncte zeigen werden, wenn hier der Unterschied der Wege AE, BE, oder AF, BF eine oder drei oder fünf halbe Wellenlängen beträgt. Je enger der Spalt wird, desto tiefer wird hier die Licht-Erscheinung in den Schatten hineinrücken und die Farbenstreifen, so wie die Beobachtung sie wirklich zeigt, werden also dem Wesentlichen nach vollkommen gut erklärt.

Noch einen Umstand muß ich erwähnen, der günstig für die Theorie der Undulationen ist, nämlich daß die lichten Streifen im Schatten eines schmalen Körpers ihre Stelle ändern, wenn der leuchtende Punct seine Stelle ändert, und daß dieses den Längen der Lichtwellen gemäß geschieht. Um diese Beobachtung zu machen, muß man möglichst genau nur von einem Puncte die Lichtstrahlen ausgehen lassen, und daher bedient man sich statt einer sehr kleinen Oeffnung lieber einer Linse von sehr kurzer Brennweite. Fängt nämlich diese auch die Strahlen von allen Puncten der Sonne auf, so vereinigt sie doch dieselben in einen sehr engen Raum, von wo sie, wie von einem einzigen Puncte, sich von neuem ausbreiten; bei einer Brennweite von $\frac{1}{4}$ Zoll ist dieser enge Raum, das Bild der Sonne, nur $\frac{1}{40}$ Linie, was allerdings noch keinesweges klein in Vergleichung gegen die Länge einer Lichtwelle ist.

Inflexioscop.

Diese Anwendung einer Linse von kurzer Brennweite giebt auch ein Mittel, um die Beugungs-Erscheinungen ohne ein verdunkeltes Zimmer zu sehen. Man nimmt eine Röhre, etwa von Pappe gemacht, deren eines Ende durch eine eingesetzte Glaslinse und ihre Fassung völlig geschlossen ist. Am andern Ende bringt man eine oder mehrere ähnliche Röhren zum Herausziehen an, und am Ende dieser ist eine Linse von nicht allzu kurzer Brennweite, von 1 bis 2 Zoll Brennweite, befestigt. In einer nicht zu geringen Entfernung von der ersten Linse wird der Gegenstand befestigt, in dessen Schatten oder an dessen Begrenzung man die Beugungsphänomene sehen will, (eine feine Nadel zum Beispiel), und man beobachtet nun diese Erscheinungen, indem man die Röhre mit dem Ende, wo die Linse von kurzer Brennweite ist, nach der Sonne zu so wendet, daß der hereindringende Lichtstrahl auf jenen Gegenstand fällt. Da man die Stellung der zweiten Linse, die als Augenglas dient, verändern kann, so kann man erstlich den Gegenstand ganz scharf sehen, wenn er im Brennpuncte des Augenglases steht, aber zweitens, wenn man das Augenglas mehr entfernt, sieht man jedes Mal diejenigen Erscheinungen, die in dem Brennpuncte des Augenglases statt finden. Ist es also eine Nadel, die

die Strahlen empfängt, so sieht man diese ihrer ganzen Länge nach in helle und dunkle, im freien Sonnenlichte in farbige Streifen getheilt. Ist es ein enger Spalt, der an einem Ende sich sehr schmal zusammenzieht, so sind es die Farbenränder, die ich oben für diesen Fall beschrieben habe, und so gilt es für alle ähnliche Fälle. Diese Einrichtung ist dem Wesentlichen nach die von Mayer unter dem Namen Inflexioscop beschriebene.

Viel vollkommener wird eben der Zweck nach Fraunhofer's Einrichtung erreicht, wo man den Schirm oder die Oeffnung, wodurch die Beugung des Lichtes bewirkt wird, unmittelbar vor dem Objectiv eines Fernrohrs anbringt, und nun durch das die Sonnenstrahlen auffangende Fernrohr sieht. Fallen die Sonnenstrahlen durch eine 15 bis 20 Fuß entfernte schmale Oeffnung ein und man hat das Fernrohr so gestellt, daß es diese Oeffnung deutlich zeigt, so sieht man, wenn ein Schirm mit sehr engem Spalt vor das Objectiv gestellt wird, in der Mitte einen weißen Streifen, der aber an den Seiten Farbenbilder, die das Roth am weitesten von der Mitte entfernt zeigen, neben sich haben. Sind es mehrere kleine Oeffnungen, durch welche die Sonnenstrahlen auf das nahe hinter denselben stehende Objectiv fallen, so sieht man eine große Menge schöne Farbenbilder. Um eine Oeffnung zeigen sich Ringe, u. s. w.

Erscheinungen der Beugung bei Strahlen, die durch mehrere enge Zwischenräume, durch Gitter gehen.

Ich gehe zu einer andern Erscheinung über, die sich uns oft zeigt, und die ganz nach denselben Grundsätzen erklärt wird. Wenn wir mit nahe an einander gebrachten Augenliedern, so daß die Lichtstrahlen nur zwischen den Augenwimpern durchgehend zum Auge gelangen, eine Lichtflamme ansehen, so zeigt sich uns neben ihr zunächst an jeder Seite ein Bild der Flamme ohne Farben, dann aber eine Reihe Farbenbilder, die ihr Violett der Flamme selbst zugewandt darbieten. Noch schöner sieht man die Erscheinung, wenn man durch ein sehr feines und sehr gleichförmiges Gewebe sieht, zum Beispiel durch ein Florband; hier sind die Farben an den seitwärts liegenden Bildern recht schön, und man kann sich auch leicht über-

zeugen, daß, wo nur einfarbiges Licht auffällt, auch hier die Erscheinung andrer Farben wegfällt.

Fraunhofer hat über diese Erscheinung eine eigne und genaue Reihe von Versuchen angestellt. Wenn man das Sonnenlicht durch eine schmale Oeffnung, etwa von ein Hunderttel Zoll einfallen läßt, und das Fernrohr so stellt, daß man diese Oeffnung scharf sieht, dann aber ein aus parallelen nach einer einzigen Richtung gezogenen Linien bestehendes Gitter vor das Objectivglas bringt; so sieht man erstlich jenen schmalen Spalt deutlich und ohne Farben, daran zweitens an jeder Seite einen dunkeln Raum, an welchen ein zweites Bild grenzt, das sein Violett gegen die Mitte der ganzen Erscheinung oder gegen jenes erste Bild wendet, daran stößt drittens an beiden Seiten symmetrisch ein dunkler Raum und dann ein neues doppelt so breites Farbenbild, worin wieder das Violett dem vorigen Bilde zugewandt ist und das Roth sich an der andern Seite zeigt; viertens grenzt hieran ein neues Farbenbild, das aber schon sein Violett mit dem Roth des vorigen mischt, und so folgen noch mehr Bilder, bei denen die Mischung noch stärker eintritt. Diese Farbenbilder werden am breitesten und haben die reinsten Farben, wenn die Linien, welche das Gitter bilden, recht fein und eng an einander sind; sie fordern, um schön zu erscheinen, eine ganz genaue Gleichförmigkeit. Sind die Zwischenräume zwischen den Linien und ist die Dicke der Linien selbst ungleich, so zeigt sich ein nicht mehr farbiger Schweif an beiden Seiten des hellen Raumes und ebenso an beiden Seiten einer Lichtflamme; denn da den weiter von einander abstehenden Linien eine enger an einander gereihete Folge von Bildern entspricht, den nähern Linien weiter entfernte Bilder, so fallen die den ungleichen Abständen entsprechenden Bilder auf einander, und zeigen den hellen Streifen, den wir auf einer unreinen Glastafel zu sehen gewohnt sind, wenn wir auf dieser parallele Züge, etwa mit dem Finger oder einem Tuche gemacht haben und dann eine Lichtflamme durch sie ansehen. Um Gitter, die vermöge vollkommener Parallellinien recht schöne Farbenbilder zeigten, zu erhalten, wandte Fraunhofer theils mit Diamant in Glas eingeritzte mit Hülfe einer genau theilenden Maschine in gleichen Abständen gezogene Linien an, theils belegte er die Gläser mit Gold und radirte hierauf Parallellinien, die dann freie

Zwischenräume zwischen den undurchsichtigen sehr feinen Goldlinien darboten. Jeder dieser feinen Zwischenräume gestattet nun dem Lichte den Durchgang, und das verstärkende oder schwächende Zusammentreffen der Lichtwellen ist es, wodurch auch hier die Nebenbilder des einen leuchtenden Gegenstandes entstehen. Stellt man dies zuerst so dar, wie es sich dem bloßen Auge zeigt, so ist folgendes offenbar. Von jeder undurchsichtigen Linie gehen Lichtwellen nach allen Richtungen aus, und da wo diese mit dem zwischen den Linien durchgegangenen Lichte verstärkend zusammen kommen, würde eine hellere Erleuchtung statt finden. Diese Orte verstärkter Erleuchtung liegen in einer fast genau graden Linie, und wenn das Auge also von einem derselben zum andern fortrücken könnte, so würde es immer das verstärkte Licht erhalten, es würde also dem verstärkten Lichtstrahle zu folgen glauben. Auf diese Weise bestimmt sich die Richtung des gebeugten Lichtstrahles nach ähnlichen Gesetzen wie früher, und es wird nun bequem für den Ausdruck, zu sagen, von jedem Faden **A** oder **a** des Gitters geht ein erster, ein zweiter, ein dritter, gebeugter Strahl, so wie **AB**, **AC**, **AD** (Fig. 122.) andeuten, aus; eigentlich sollte es heißen, in **AB** liegt die erste Folge aller verstärkend zusammentreffenden Wellen, in **AC** die zweite Reihe und so ferner; **ab**, **ac**, **ad** bedeuten eben das für einen andern Faden oder für eine andre undurchsichtige Linie des Gitters *). Diese sich verstärkenden Lichtwellen gewähren also dem Auge in **B** die Empfindung eines nach der Richtung **AB** zu ihm gelangenden Lichtstrahles, also eines um den Winkel **SBA** von dem leuchtenden Puncte entfernten Nebenbildes. Befindet das Auge **B** sich zugleich in der Richtung des Strahles **ac**, den wir als zweiten gebeugten von **a** kommenden Strahl ansehen dürfen, so zeigt sich in dem Winkelabstande **SBa** ein zweites Nebenbild, und auf ähnliche Art ein drittes in der Richtung **B***a*. Das Auge **B** wird in jeder Stellung diese Nebenbilder sehen, denn wenn **ac** nicht grade auf **B** zu ginge, so würde von einem näher bei **A** oder ent-

*) Fraunhofer bemerkt, es sei nicht nöthig, daß das Gitter aus undurchsichtigen Fäden oder Linien bestehe, sondern Glasfäden leisten eben das; aber um eine immer gleiche, nicht bestimmt die Hauptsache ausdrückende Bezeichnung zu wählen, behalte ich den Ausdruck bei.

fernter von A liegenden Faden her, der mit a e oder A C parallele gebeugte Strahl das Auge treffen.

So entstehen Nebenbilder an beiden Seiten des leuchtenden Punctes S, und da die Richtung der gebeugten Strahlen desto stärker abgelenkt ist, je näher an einander die Fäden liegen, so erhellt erstlich, daß bei sehr feinen Gittern die Nebenbilder weit vom Hauptbilde entfernt stehen, zweitens daß diese Nebenbilder verwirrt werden, wenn das Gitter nicht aus vollkommen gleichen und vollkommen gleich entfernten Fäden besteht. Jede Farbe hat, wie Sie wissen, ihren eignen Abstand oder ihre bestimmte Richtung bei der Beugung, und die Nebenbilder eines weißen Lichtes erscheinen also farbig und mit desto schöner getrennten Farben, je feiner das Gitter und je gleichförmiger es ist; bei ungleichförmigen Streifen vermischen sich die Farben und geben nur Weiß.

Eine Bemerkung muß ich hier noch beifügen. Nach Fraunhofer's Anleitung bedient man sich des Fernrohrs, und sieht dann die Farbenbilder mit ganz vorzüglicher Schönheit; es läßt sich leicht einsehen, daß man sie auch da deutlich sieht, weil die parallel einfallenden Strahlen A C, a c, $\alpha\gamma$, sich ebenso als ob sie von einem sehr entfernten Puncte kämen, zu einem Bilde vereinigen, und man also jedes der Nebenbilder mit sehr verstärktem Lichte und unter einem größern Sehewinkel sieht.

Höfe um Sonne und Mond.

Diese Nebenbilder sind es, die wir in den Höfen um den Mond sehen. Es ist bekannt, daß der Mond, wenn er durch dünne Wolken scheint, oft von einem unscheinbaren, manchmal aber auch von einem sehr schönen kleinen Hofe umgeben ist. Daß diese Höfe durch kleine Dunstbläschen hervorgebracht werden, davon kann man sich am besten überzeugen, wenn man eine recht reine Glasscheibe leicht anhaucht und dann durch sie nach einem entfernten Lichte sieht; das Licht ist dann von einem Hofe, der nahe am Lichte weiß, blaulich weiß ist, und sich in Gelb und Roth endigt, umgeben, und dieser Hof ist desto größer und schöner, je feiner die angehauchten Dunsttheilchen sich angelegt haben; bei starkem Anhauchen, wo schon größere und ungleiche Thautropfen sich anlegen, geht der farbig begrenzte Hof in eine blaß erhellte Umgebung des

leuchtenden Punctes über, so wie durch ein minder gleiches und nicht so feines Gewebe sich auch nur ein erhellter Raum um das Licht oder neben dem Lichte darstellt, statt der schönen Farbenbilder, die man bei einem feinen und ganz gleichen Gewebe sah.

Wenn diese kleinen Höfe um den Mond recht schön sind, so bieten sie mehrere Farbenkreise dar, indem das ihn umgebende Weiß in einiger Entfernung in ein blauliches Weiß übergeht, woran ein gelber und dann ein rother Ring grenzt; dieser wird von Violett, Blau, Grün, Gelb, Roth, als zweiter Farbenfolge, diese von einer dritten, meistens nur aus Grün, verwaschenem Gelb und Roth bestehenden Farbenfolge umgeben, und es kann sich hieran noch eine Farbenfolge, Grün und Roth, anschließen. Da die Dunsttheilchen sehr gleichmäßig an Größe und Entfernung sein müssen, wenn die Erscheinung recht vollkommen hervorgehen und recht große Höfe darbieten soll, so ist die Erscheinung in ihrem vollen Glanze selten, und oft, wenn die dünnen Wölkchen, die Howard **cirro-stratus** nennt, am Monde vorbeiziehen, nur auf die Dauer weniger Minuten beschränkt. Um die Sonne sieht man diese Höfe selten, weil ihr helles Licht das Auge zu sehr blendet, und die Höfe nicht mehr schön sind, wenn der Wolkenschleier zu dicht ist; aber wenn man an solchen Tagen, wo recht zarte Wölkchen vor der Sonne vorbeiziehen, Gelegenheit nimmt, die Sonne im Wasser zu sehen, so sieht man sehr oft schön gefärbte Stücke dieser Höfe, wenn es gleich selten ist, daß man die ganzen Höfe wahrzunehmen Gelegenheit hat. Die Farben sind bei der Sonne viel glänzender als bei dem Monde, und haben oft eine große Reinheit.

Die Halbmesser der Ringe geben uns ein Mittel, uns über die Kleinheit der hier wirksamen Dunsttheilchen zu belehren, und wenn man nach Beobachtungen jener Halbmesser rechnet, so findet man die Größe der Dunsttheilchen von $\frac{1}{2000}$ bis $\frac{3}{2000}$ Zoll wechselnd.

Auf ähnliche Weise erklärt man die Höfe, die man zuweilen um den Schatten des eignen Kopfes im Nebel gesehen hat. Scoresby hat sie in den dichten und eine niedrige Schichte bildenden Polarnebeln gesehen, wenn er sich auf der Spitze des Mastes oberhalb der dichtesten Nebelschichte befand. Dagegen ist eine sehr oft

vorkommende Erscheinung, die ich bei dieser Gelegenheit erwähnen will, nicht ganz hieher zu rechnen. Man sieht nämlich bei sehr niedrigem Stande der Sonne oft um den Schatten seines eignen Kopfes einen hellen Schein, der sich besonders über den oberen Theil des Schattens weiter fort zu erstrecken pflegt. Dieser Schein ist am besten sichtbar, wenn der Schatten auf eine mit Gras bedeckte Ebne fällt, vor allem wenn die Gewächse mit Thautropfen bedeckt sind. Hier scheint die Ursache des Glanzes theils darin zu liegen, daß man den Spiegelglanz von der Oberfläche der Thautropfen und von der Rückseite der Thautropfen sieht, wenn man in einer der Sonne entgegengesetzten Richtung auf die Thautropfen blickt, theils trägt auch die Erleuchtung, vorzüglich der cylindrischen Grashalme zu der Erscheinung bei, indem man die völlig erleuchtete Seite am besten neben der Stelle sieht, wo der Schatten des Kopfes hinfällt, statt daß die mehr seitwärts liegenden Halme uns einen großen Theil ihrer dunkeln Seite zeigen, und da die oberhalb unsers Schattens liegenden cylindrischen Körper uns alle ihre ganz erleuchtete Seite zeigen, so erstreckt der Schein sich höher über das Ende unsers Schattens hinauf. Wenn man an höhern Gegenständen, zum Beispiel an den Halmen eines Strohdaches, diesen Schein sieht, so kann der zurückgeworfene Glanz der Sonne vom bethauten Grase bewirken, daß er sich noch höher über den Schatten des Kopfes hinauf erstreckt. Diese Erklärung scheint mir für die allermeisten Fälle ganz ausreichend; möglich ist es indeß, daß auch hier, wenn sehr zahlreiche feine Thautropfen an den Härchen der Pflanzen haften, ein Hof durch Beugung der Lichtstrahlen entstanden, sich mit dieser Erscheinung vereinigt. Daß jeder diesen Schein nur um seines eignen Kopfes Schatten sieht, und allenfalls nur um den Schatten eines dem eignen Auge sehr nahen Gegenstandes, läßt sich leicht erklären.

Nebenbogen am Regenbogen.

Noch eine Erscheinung muß ich hier erwähnen, die hieher zu gehören scheint, wenn man gleich noch nicht ganz einig über ihre Ursache ist. Man sieht sehr oft an der unteren Seite des Hauptregenbogens die Farben Grün und Violett mehrmals wiederholt, und diese Wiederholung zeigt sich nur an dem höchsten Theile des

Bogens an der untern Seite, ohne sich an seinen Schenkeln bis zur Erde herab zu erstrecken. Venturi hat diese Erscheinung aus einer abgeplatteten Form der Regentropfen erklärt, indem er ganz richtig zeigt, daß Tropfen, die mehr breit als hoch sind, einen niedrigern Farbenbogen darstellen müssen; aber so richtig dieses ist, so müßte man, wie es mir scheint, Regentropfen von so viel bestimmten Formen, als es die Anzahl dieser wiederholten Bogen fordert, annehmen, und dürfte nicht zugestehen, daß zwischen ihnen Uebergänge statt fänden, und dieses scheint um so minder glaublich, da es außer den Kugeltropfen, die den Hauptbogen darstellen, noch wenigstens zwei bestimmte andre Formen geben müßte, um die so oft deutlich sichtbaren zwei Farbenwiederholungen zu geben. Möglich wäre es indeß, daß die durch den Widerstand der Luft bestimmte Gestalt der Regentropfen einen Grund für die zur Entstehung mehrerer Bogen nöthige Form enthielte.

Indeß, obgleich wir über die ganz genaue Form der Regentropfen ununterrichtet sind, so scheint es mir doch glaublicher, daß man die Wiederholung der Farben Grün und Violett, die sogar öfter als zweimal scheint vorkommen zu können, aus einem andern Umstande erklären müsse. Wenn nämlich zur Zeit des Entstehens eines Regenbogens zugleich ein hinreichend lebhafter Farbenring, ein Hof um die Sonne erschiene, so müßten Nebenbogen erscheinen, und diese vorzüglich an der innern Seite und aus Grün, Blau und Violett bestehend. Um dies zu übersehen, muß ich Sie zuerst daran erinnern, daß der rothe Bogen des Hauptregenbogens $42\frac{1}{2}$, der violette Bogen $40\frac{1}{2}$ Grad, also der grüne etwa $41\frac{1}{2}$ Grad Halbmesser hatte; und nun können wir fragen, wie würden sich die Erscheinungen verhalten, wenn oberhalb und unterhalb der Sonne zuerst nur kleine Theile farbiger Ringe ständen. Ich will für diese Ringe die Abstände $= 1^0$ für das erste Roth, $1\frac{1}{4}{}^0$ für das erste Grün, $1\frac{1}{2}$ Grad für das erste Violett, $1\frac{3}{4}{}^0$ für das zweite Roth annehmen, und diese Theile der Ringe als kleine farbige Sonnen oberhalb und unterhalb der wahren Sonne ansehen. Stellen nun (**Fig. 123.**) **ab**, **cd**, **ef** die drei genannten Farben des Hauptbogens dar, so giebt die obenstehende rothe Sonne einen rothen Bogen, der **1** Grad tiefer als **ab** liegt, die zweite oben stehende rothe Sonne einen Bogen, der $1\frac{3}{4}$ Grad tiefer als **ab** liegt;

beide fallen in den Hauptbogen und sind zu schwach, um sich dort kenntlich zu machen; der grüne Bogen der ersten oberen grünen Sonne liegt $1\frac{1}{4}$ Grad, der zweiten oberen grünen Sonne etwa 2 Grad unter cd, also beide schon außerhalb des Hauptbogens bei gh; die violetten Bogen liegen $1\frac{1}{2}$ Grad und $2\frac{1}{4}$ Grad unter dem violetten Bogen; und es ist also der erste grüne Bogen unter dem violetten Hauptbogen kenntlich, der erste violette Bogen unter dem ersten grünen; der zweite grüne nahe unter dem ersten violetten, der zweite violette noch tiefer. Sieht man dagegen auf die unterhalb der Sonne stehenden Theile des Hofes, so geben diese Nebenbogen oberhalb des Hauptbogens den ersten rothen 1 Grad über ab, den ersten grünen $1\frac{1}{4}$ Grad über cd, den ersten violetten $1\frac{1}{2}$ Grad über ef, den zweiten rothen $1\frac{3}{4}$ Grad über ab, den zweiten grünen 2 Grad über cd, das ist 1 Grad über ab, also mit dem ersten rothen zusammenfallend, wodurch beide unkenntlich werden, den zweiten violetten finden wir $2\frac{1}{4}$ Grad über ef mit dem ersten grünen zusammenfallend. Und so wie hier ungefähr der zweite grüne Bogen den ersten rothen zerstört oder unkenntlich macht, so findet es für den dritten grünen und zweiten rothen Bogen wieder statt. Es ist also ein guter Grund vorhanden, warum oben kein Nebenbogen sich zeigt, statt daß unten allenfalls nur der rothe dritte Nebenbogen sich mit dem ersten violetten mischen könnte, woraus wegen des allmählig schwächern Lichtes der entfernteren Höfe kein völliges Zerstören hervorgehen kann. So schiene sich also das Entstehen von zwei innern Nebenbogen aus Grün und Violett gut zu erklären, wenn bloß oberhalb und unterhalb der Sonne jene Theile der Höfe vorkämen; da statt dessen aber ganze farbige Ringe angenommen werden müssen, so sollten sich eigentlich unzählige, so wie gh, ik, lm, sich in einander verlaufende grüne Bogen und ebensolche violette Bogen bilden; es scheint mir ganz richtig, daß der vereinte Glanz derselben einen mit ef gleichlaufenden Bogen bildet. Der einzige Umstand, der unerklärt bliebe, wäre also, warum diese Nebenbogen sich nicht ganz bis zu dem unteren Theile des Regenbogens herab erstrecken.

Doch da diese Erklärung der Erscheinung noch von andern Physikern nicht geprüft worden ist, so überlasse ich es Ihnen, zu beurtheilen, ob sie Beifall verdient.

Farben-Erscheinungen durch Zurückwerfung.

Auch durch die Zurückwerfung des Lichtes entstehen Farben-Erscheinungen, die auf ähnliche Weise, wie bei der Beugung, von Interferenzen abhängen. Höchst bekannt sind die feinen farbigen Sonnenbilder, die wir an Haaren oder Spinnefäden, zuweilen auch an Clavierſaiten, und in vielen andern Fällen ſehen. Noch ſchöner zeigen ſie ſich, wenn man ſpiegelnde Flächen durch ſehr eng an einander eingeriſſene feine Linien in völlig gleiche Theile eingetheilt hat, indem dieſe Flächen dann bald das rothe, bald das grüne, bald das violette Licht zurückwerfen, ſo wie es die verſchiedenen Einfallswinkel fordern.

Um dieſe Farben-Erſcheinungen zu erklären, müſſen wir auf die beim Antreffen des Lichtes an einen andern Körper entſtehenden Lichtwellen zurückgehen, die nämlich von jedem Puncte der Spiegelfläche ausgehen. Iſt hier die ganze Fläche **AB** (**Fig. 124.**) gleich gut geeignet die Lichtwellen zu erregen, ſo entſteht, auf die früher gezeigte Weiſe, die regelmäßige Reflexion; aber wenn dagegen nur ein ſehr kleiner Raum **D**, ſo klein, daß er ſelbſt in Vergleichung gegen die Kleinheit der Lichtwellen nicht erheblich iſt, die Eigenſchaft Lichtwellen zu erregen beſitzt, ſo werden von **D** nach allen Seiten Lichtwellen ausgehen, und es wird keine beſtimmte Richtung des reflectirten Strahles ſtatt finden. Giebt es neben **D**, aber ſo daß dazwiſchen eine zu Zurückſendung der Lichtwellen untaugliche Stelle iſt, einen zweiten die Lichtwelle zurückgebenden ſehr kleinen Raum **d**, und ſo einen dritten **e**, und ſo ferner; ſo werden die Lichtwellen, von dieſen getrennt liegenden Puncten ausgehend, dem Auge, das in einem Puncte gegenſeitiger Verſtärkung ſteht, eine Licht-Erſcheinung geben, dem Auge dagegen, das in einem Puncte gegenſeitig zerſtörender Interferenz ſteht, ein Dunkel darbieten. Man müßte alſo die um **D**, **d**, **e** entſtehenden Lichtwellen zeichnen, und wenn hier **C** die Lichtquelle iſt, diejenigen Durchſchnittspuncte **F** ſuchen, wo die Summe der Wege **CD**, **DF** zuſammen um eine ganze Wellenlänge von der Summe der Wege **Cd**, **dF** verſchieden iſt, und ein ſolcher Punct **F** wäre dann für die Licht-Erſcheinung geeignet, dagegen bei dem Unterſchiede der Wege gleich einer halben, gleich drei halben, gleich fünf halben

Wellenlängen sähe ein in dieser Stellung befindliches Auge ein Dunkel. Die Stellungen des Auges, die einer Licht=Erscheinung angemessen sind, liegen also offenbar anders für die violetten Strahlen als für die rothen, sie liegen anders für die um zwei Wellenlängen verschiedenen Wege, als für die um eine Wellenlänge verschiedenen Wege u. s. w. Eine Betrachtung, der vorhin für Gitter geführten ganz ähnlich, zeigt, daß man mehrere dieser Farbenbilder zugleich, aber nach verschiedenen Richtungen, sehen kann, und daß sie desto schöner farbig erscheinen müssen, je enger an einander und je gleichmäßiger diese Licht zurückwerfenden Theile liegen.

Um diese Farben auf gefurchten Flächen bequem zu sehen, hat Hoffmann ein eignes Instrument angegeben, das er Chromadot nennt, (Farbengeber,) wo eine mit feinen und gleich weit aus einander stehenden Linien gefurchte Stahlplatte das Licht nur durch eine schmale Oeffnung empfängt; ein Rohr, vor welchem man das Auge hält, weiset diesem seinen richtigen Platz an, und man sieht nun, wenn man die Neigung der Stahlplatte nach und nach ändert, sehr schöne Farbenfolgen erscheinen.

Besitzt man solche gefurchte Flächen oder die oben beschriebenen, zum Durchlassen der Strahlen eingerichteten Gitter, die so sorgfältig nach bekannten Maaßen eingerichtet sind, wie bei Fraunhofer's Versuchen, so giebt die Bestimmung des Abstandes dieser Farbenbilder vom Hauptbilde oder im andern Falle vom leuchtenden Körper selbst, ein neues Mittel, die Länge der Lichtwellen genau zu berechnen, und auf diese Versuche hat Fraunhofer seine, oben schon angeführten, Angaben für die Länge der Lichtwellen gegründet.

Die Farben, welche sich an Haaren, an Spinnefäden, an Metallsaiten, zeigen, müssen ohne Zweifel aus ähnlichen feinen Furchungen erklärt werden. Der schillernde Glanz der Vogelfedern scheint ebenfalls hieher zu gehören *). Nach Brewster soll man

---

*) Auch die Farbenstreifen sind wohl hieher zu rechnen, die man oft im Spiegel wahrnimmt, wenn man das Auge so hält, daß eine vor dem Spiegel gehaltene Lichtflamme ganz nahe bei ihrem Bilde im Spiegel erscheint. Diese Streifen haben ihr Blau dem Spiegelbilde

auch das Farbenspiel des Perlmutters den feinen Furchen zuschreiben, die sich auf der Oberfläche dieses Körpers finden. Diese Furchen, die zuweilen parallel, zuweilen in verschiedenen Richtungen gekrümmt sind, lassen sich mit dem Microscop erkennen, und Brewster sucht in diesen Furchungen die Ursache des Perlmutterglanzes, weil es ihm gelungen ist, Abdrücke von Perlmutter in schwarzem Siegellack mit ähnlichem Farbenglanze zu erhalten*).

Fresnel's Experiment über die Interferenz-Erscheinungen.

Endlich muß ich noch ein Experiment, welches Fresnel zu Darstellung der Interferenz-Erscheinungen empfohlen hat, anführen. Man bedient sich dabei zweier an der Hinterseite geschwärzter Gläser, deren Vorderseite also als Spiegel dient, und die dann keine doppelten Spiegelbilder geben. Diese werden mit vollkommener Berührung ihrer Ränder in eine sehr geringe Neigung gegen einander gebracht, wie **BC, CD (Fig. 125.)** und erhalten von einem sehr feinen Puncte **A**, der das Licht aussendet, ihr Licht. Da hier eine unbeschränkte Spiegelung statt findet, so sollte der eine Spiegel ein reines Bild in **V**, der andre in **U** hervorbringen, die aber, weil die Spiegel so sehr wenig gegen einander geneigt sind, sehr nahe an einander liegen. Ein Auge in **E** sieht also durch die in **F** und **G**, ein Auge in **H** durch die in **I** und **K** reflectirten Strahlen zwei Bilder, und die Erleuchtung sollte in diesem und allen zwischenliegenden Puncten von beiden Spiegeln her statt finden, wenn man nicht auf die einander gegenseitig zerstörenden Lichtwellen sehen müßte, deren Einfluß bei einer so sehr

---

zugewandt, und sind senkrecht gegen die durch die Flamme und ihr Bild gezogene Linie. Sie entstehen durch die auf dem Spiegel liegenden Stäubchen und andre Unreinheiten.

*) Um diese gut zu erhalten, muß man Perlmutter in recht feines schwarzes Siegellack abdrücken; aber das Farbenspiel, welches man dann im Sonnenstrahl erhält, ist doch von dem des Perlmutters noch verschieden, so daß ich den Zweifel, ob nicht die feinen Blättchen im Perlmutter Antheil an dem Farbenspiel haben, nicht ganz als widerlegt ansehe.

geringen Neigung der neben einander fortgehenden Strahlen merklich wird. Zieht man nämlich die den Winkel U C V halbirende Linie E C W, so erhellt leicht, daß in jedem Puncte der Linie C E, zum Beispiel in E, eine durch die Reflexion von beiden Spiegeln verstärkte Erleuchtung statt findet, weil die Summe der Wege A G, G E ebenso groß als die Summe der Wege A F, F E ist. Dagegen in einem Puncte H neben E kann Mangel an Erleuchtung, Dunkelheit durch Interferenz statt finden, wenn A K, K H zusammen genau eine halbe Wellenlänge mehr als A I, I H zusammen betragen. In M wird wieder eine verstärkte Licht-Erscheinung eintreten, wenn die Differenz der Wege eine ganze Wellenlänge beträgt, und so ferner.

Diese neben einander liegenden hellen und dunkeln Puncte sieht man nun wirklich, wenn man in H E eine matte Glasplatte hält, und sie von der Seite Z aus mit dem Microscop betrachtet, oder — was, wie ich öfter gesagt habe, einerlei ist, — wenn man dieses mattgeschliffene Glas wegläßt, und mit dem Microscop die Strahlen beobachtet, welche in H E ihre Wirkung äußern. Daß aber diese Licht-Erscheinungen wirklich der Interferenz ihren Ursprung verdanken, sieht man, wenn man nur die von einem Spiegel nach M H E kommenden Strahlen zuläßt, die andern aber durch einen Schirm aufhält; alsdenn ist dieser Wechsel von Hell und Dunkel nicht mehr zu bemerken.

Sie werden vielleicht einwenden, eben das müsse sich also bei allen Spiegeln zeigen, auch wenn ihre Neigung größer wäre; aber es läßt sich leicht darthun, daß bei einem größern Winkel, den die Spiegel mit einander machen, diese kleinen erleuchteten Puncte so nahe an einander fallen, daß sie nicht mehr zu erkennen sind; selbst die Neigung von 1 Grad giebt den Abstand zwischen den beiden ersten hellen Puncten nur 60 Wellenlängen gleich, das ist ungefähr ein Funfzigstel einer Linie, und der Winkel muß also noch weniger betragen.

Aus allen diesen Versuchen sehen Sie, daß die Lehre von den Interferenz-Erscheinungen des Lichtes auf einer solchen Mannigfaltigkeit von Versuchen beruht, daß man diese Erscheinungen unmöglich bezweifeln kann. Diese Erscheinungen sprechen den Satz deutlich aus, daß nicht unbedingt zwei Lichtstrahlen zusammen

kommend die Erleuchtung verstärken, sondern daß sie, nach beinahe gleicher Richtung fortgehend, einander schwächen, ja selbst zerstören, wenn ihre Wege von der Lichtquelle an um eine gewisse Differenz der Wege, oder um das Dreifache, Fünffache, Siebenfache dieser Differenz verschieden sind, statt daß die Verstärkung statt findet, wenn die Wege gleich, oder um das Doppelte, Vierfache, Sechsfache jener Differenz verschieden sind.

Aber selbst einer der scharfsinnigsten und gründlichsten Vertheidiger der Undulationstheorie, Fraunhofer, hat die sehr wahre Bemerkung gemacht, daß daraus nicht unbedingt die Richtigkeit dieser Theorie folge, sondern nur die Nothwendigkeit, die Wirkungen des Lichtes so zu erklären, daß die Erfolge in der einen Hälfte des Weges, den wir eine Wellenlänge genannt haben, zerstörend für die der andern Hälfte bei genauem Zusammentreffen beider wirken.

Sechszehnte Vorlesung.

So merkwürdige und zum Theil überraschende Erscheinungen ich Ihnen, m. h. H., auch bisher schon mitgetheilt habe, so haben doch die in den neuesten Zeiten angestellten Untersuchungen über die Phänomene des Lichtes noch vieles dargeboten, was noch überraschender ist, uns das wunderbare Wesen des Lichtes in noch mannigfaltigern Modificationen kennen lehrt, aber auch des Räthselhaften und Unerklärlichen noch sehr viel darbietet. Die Erscheinungen, womit ich Sie heute unterhalten werde, geben hiervon schon einige Beispiele, schließen sich aber doch auch noch an sehr bekannte Erscheinungen an, und geben den Uebergang zu den verwickelten Erscheinungen, auf die ich eben vorhin hindeutete.

Die doppelte Brechung der Lichtstrahlen.

An die Lehre von der Brechung des Lichtes schließt sich eine Erscheinung an, die vielleicht im ersten Augenblicke nicht von so

sehr tiefer Bedeutung zu sein scheint, und die dennoch uns Eigenschaften des Lichtes kennen lehrt, auf die keine der bisher erklärten Erscheinungen hinwies. Sie wissen, daß fast bei jedem Uebergange in einen andern Körper das Licht, wenn es schief auffällt, gebrochen wird, und sich in Farbenstrahlen zerlegt; aber einige Körper und zwar namentlich solche, die crystallisirt sind, haben die Eigenschaft, den eintretenden Lichtstrahl in zwei völlig von einander getrennte Strahlen, deren jeder die Farben-Erscheinung darbieten kann, zu zerlegen. Wir sagen von diesen Körpern, daß das Licht in ihnen eine doppelte Brechung erleide, und es zeigt sich bei genauerer Untersuchung, daß die Gesetze der Brechung für diese zwei getrennten Strahlen wesentlich verschieden sind.

Einer der bekanntesten Körper, der diese Eigenschaft besitzt, ist der Doppelspath, ehemals unter dem Namen des Isländischen Crystalls bekannt. Dieser ist ein durch parallele, aber schief gegen einander geneigte Ebenen begrenzter Körper, ein Rhomboid, dessen Seitenflächen schiefe Vier-Ecke mit parallelen Seiten sind, in welchen die zwei spitzen Winkel 78° 5′, die zwei stumpfen Winkel 101°. 55′. sind; diese Seitenflächen machen mit einander Neigungswinkel von 74°. 55′ und 105°. 5′ und diese Abmessungen finden sich bei allen diesen Crystallen gleich. Der Crystall läßt sich leicht in Blättchen, die den Oberflächen parallel liegen, zerlegen, und die integrirenden Theilchen des Crystalls müssen also als eben solche Rhomboide angesehen werden, denen wir überdies gleiche Seitenlinien und eine mit der Lage der Seiten des großen Crystalls übereinstimmende Lage beilegen dürfen. Der große Crystall sowohl, als diese Elementarcrystalle, woraus wir uns ihn zusammengesetzt denken, hat unter seinen acht körperlichen Ecken zwei, die aus lauter stumpfen Winkeln von 101°. 55′, als Seitenflächen der Ecke, gebildet sind, die sechs übrigen haben zwei spitze und einen stumpfen Winkel als Seitenfläche. Nimmt man von dem großen Crystalle ein Stück, dessen Seitenlinien AB, BC, AD (Fig. 126.) alle gleich sind, und zieht zwischen den beiden aus lauter stumpfen Winkeln entstandenen Ecken eine grade Linie, BK, so heißt diese die Axe des Crystalls, und sie hat die Eigenschaft, daß sie gegen alle Seitenflächen eine gleiche Neigung von 45°. 23′. 25″ hat. Sie kann mit Recht die geometrische Axe des Crystalles hei-

ßen, weil in jedem solchen Crystalle nicht bloß nur eine solche, zwischen den ganz stumpfen Ecken gezogene Linie vorkömmt, sondern auch keine andre Linie sich ebenso als einzig in ihrer Art darstellt. Wenn der zufällig gebildete Crystall ungleiche Seiten hat, so muß man dennoch unter der Axe des Crystalls diese im gleichseitigen Crystalle gezogene Linie verstehen, die bei unsern Betrachtungen vorzüglich in Beziehung auf die kleinen Crystalle, aus welchen wir den großen Crystall uns zusammengesetzt denken, vorkömmt.

An diesem Crystalle zeigen sich die Erscheinungen der doppelten Strahlenbrechung auf folgende Weise. Wenn sich unter der Grundfläche im T (Fig. 126.) ein kenntlicher Punct befindet, zu welchem die vom Auge O ausgehende Linie gegen beide Oberflächen ABC, DKL, senkrecht gezogen ist, so sieht das Auge O jenen Punct doppelt; bei genauerer Untersuchung überzeugt man sich, daß zwar die Richtung, nach welcher das eine dieser doppelten Bilder gesehen wird, mit der Senkrechten OT genau übereinstimmt, der Lichtstrahl also ungebrochen zum Auge kömmt, daß aber der andre Strahl, ganz den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung entgegen, auch hier eine Brechung leidet. Man bemerkt, so lange das Auge genau in der gegen beide Oberflächen senkrechten und durch den Punct T gehenden Linie bleibt, daß beide Bilder in derjenigen Richtung liegen, die mit der den stumpfen Winkel ABC halbirenden Linie parallel ist, und daß die Brechung, die wir die ungewöhnliche Brechung zu nennen berechtigt sind, in derjenigen Ebne geschieht, in welcher sich die vorhin angegebene Axe des Crystalles befindet. Diese Bemerkung gilt in Beziehung auf jedes Paar paralleler Seitenflächen des Crystalles, und es läßt sich also wohl einsehen, daß jene Axe in einer bestimmten Beziehung mit der doppelten Brechung steht. Entfernt sich das Auge von der durch T auf beide Ebenen ABC, DKL, gezogenen Senkrechten, bleibt aber in derjenigen auf ABC senkrechten Ebene, die durch T mit den Axen der Crystalle, aus welchen wir den großen Crystall zusammengesetzt ansehen, parallel ist, so bleibt auch der ungewöhnlich gebrochene Strahl in dieser Ebne; weicht dagegen das Auge von dieser Ebne ab, so ist für den ungewöhnlichen Strahl das bei der gewöhnlichen Brechung ganz allgemeine und auch hier für den gewöhnlich gebrochenen Strahl immer statt findende Gesetz, daß

der einfallende und der gebrochene Strahl mit dem Einfallslothe in einer Ebne liegen, nicht mehr richtig.

Doch, statt noch mehr einzelne Beobachtungen durchzugehen, wollen wir sogleich den Hauptgedanken, daß jene geometrische Axe des Crystalles auch als optische Axe eine große Wichtigkeit habe, festhalten, und daran regelmäßig geordnete weitere Versuche knüpfen. Dabei muß ich Sie nur immer erinnern, wenn der Crystall ungleiche Seiten hat, jene Axe als Ecklinie für einen Crystall mit gleichen Seitenlinien zu ziehen, und sich zu erinnern, daß in jedem Puncte, wo ein Strahl einfällt oder durchgehend hingelangt, in den kleinern Crystallen, die wir als integrirende Theile des Ganzen ansehen, solche Axen, alle unter einander parallel, vorhanden sind. Um den Einfluß dieser Axen kennen zu lernen, läßt man einen Crystall so schneiden, daß er zwei auf diese Axen senkrechte Ebnen als Seitenflächen erhält; und hier zeigt sich nun erstlich, wenn der Lichtstrahl mit der Axe parallel, das heißt, senkrecht auf die neuen Oberflächen einfällt, daß er ungebrochen und unzerspalten durchgeht, und daher der gesehene Punct einfach erscheint; dagegen zweitens, wenn der Strahl geneigt einfällt, der gewöhnlich gebrochene Strahl der Axe näher liegt, als der nun wieder getrennt erscheinende ungewöhnliche Strahl. Da nämlich (Fig. 127.) hier BC die Axe (oder die verlängerte Axe) des an B anliegenden kleinen Crystalles ist, so wird der einfallende Strahl AB in den gewöhnlichen BO und den ungewöhnlichen BE gespalten, beide erleiden eine Brechung, aber der ungewöhnlich gebrochene Theil des Strahles verhält sich so, als ob er durch irgend eine nur auf ihn allein wirkende Kraft von der Axe BC zurückgestoßen würde.

Schneidet man den Crystall so, daß zwar (Fig. 128.) die eine Seitenfläche LM auf die Axe BC senkrecht ist, die andre NQ aber willkührlich dagegen geneigt, so geht nicht bloß ein bei B senkrecht auffallender Strahl ungebrochen und unzerspalten nach BC fort, wo er dann als ungetheilter Strahl, obgleich gebrochen, nach CP hervorgeht, sondern auch, wenn bei C ein schief auffallender Strahl PC grade so auffällt, daß er nach der Brechung bei C mit der Axe BC parallel wird, geht der ganze Strahl, (von dessen Farbenzerstreuung wir hier absehen,) ohne zwei Bilder zu zeigen, hervor. Es ist daher ein Mittel, um die genaue Axe

des Crystalles kennen zu lernen, daß man ihn so schneidet, daß das senkrecht auf die Ebne **LM** nach **B** sehende Auge nur ein einfaches Bild der Gegenstände erhalte, welches allein dann der Fall ist, wenn die Senkrechte **BC** mit der Axe zusammenfällt, oder allen Axen der Crystalltheilchen parallel ist. Sind beide Oberflächen auf diese Axe senkrecht, so zeigen sich die Erscheinungen des zweiten Bildes bei schief einfallenden Strahlen nach allen Richtungen um die Axe vollkommen gleich.

Eine ebensolche Axe, welche die Eigenschaft hat, daß die mit ihr parallel im Innern des Crystalles fortgehenden Strahlen keine Zerspaltung in zwei Strahlen leiden, findet man auch bei andern doppelt brechenden Crystallen; aber nicht bei allen ist der ungewöhnlich gebrochene Strahl der von der Axe entferntere, der gleichsam von ihr abgestoßene, sondern in einigen z. B. im Bergcrystall, liegt er der Axe näher als der gewöhnlich gebrochene, so daß man ihn als angezogen ansehen müßte.

Um die Gesetze zu bestimmen, wie die Brechung von der Lage dieser Axe abhängig ist, muß man die Crystalle in verschiedenen Richtungen zerschneiden lassen, damit man die dann hervorgehenden Phänomene wahrnehmen könne. Außer derjenigen Theilung, bei welcher die Ebnen beider Schnitte auf die Axe senkrecht sind, ist diejenige die merkwürdigste, wo beide Schnitte mit der Axe und unter einander parallel sind. Am belehrendsten sind hier die zwei Fälle, wo entweder der einfallende Strahl in einer durch das Einfallsloth gelegten, mit der Axe parallelen, oder in einer auf sie senkrechten Ebne liegt. Es sei **AC** (Fig. 129.) diese Axe und der Lichtstrahl **IK** liege so, daß er sich in einer durch **KL** und **KM** senkrecht auf **AC** gelegten Ebne befinde; so bleibt der ungewöhnlich gebrochene und der gewöhnlich gebrochene Strahl in eben dieser durch **MKI** oder **MKL** gelegten Ebne, aber der Winkel, den der ungewöhnlich gebrochene Strahl **KE** mit dem Einfallslothe **KN** macht, ist größer als der, den der gewöhnlich gebrochene **KO** mit **KN** macht, und in diesem Falle, nämlich wenn die Ebne **MKI** senkrecht auf die Axe ist, haben sowohl die Sinus der Winkel **IKM, OKN**, als die Sinus der Winkel **IKM, EKN** ein bei allen Einfallswinkeln gleich bleibendes Verhältniß. Dieses Verhältniß wird bei jenen durch **1** zu **0,604** oder **1,656** zu **1**,

bei diesen durch 1 zu 0,674 oder 1,484 zu 1 ausgedrückt, und der Winkel NKE ist also allemal größer als NKO; (z. B. für IKM = 10°, ist EKN = 6° 43$\frac{1}{3}$′, und OKN = 6° 1$\frac{1}{2}$′).

Wenn man diese Erscheinungen nach Newton's Ansichten benutzen wollte, um die Geschwindigkeit der Lichttheilchen im Innern des Crystalls zu bestimmen, so würde man diese Geschwindigkeit ungleich finden für die im gewöhnlich gebrochenen Strahle und für die im ungewöhnlich gebrochenen Strahle vereinigten Lichttheilchen, indem jene beinahe 1$\frac{2}{3}$ mal so schnell als in der Luft, die ungewöhnlich von ihrem Wege abgelenkten Theilchen aber nur 1$\frac{1}{2}$ mal so schnell als in der Luft fortgehend angenommen werden müßten. Dieser Newton'schen Ansicht gemäß sahen wir die in den dichtern und stärker brechenden Körpern größere Geschwindigkeit so an, als ob sie durch die anziehende Kraft des Körpers beschleunigt wäre, und diese Beschleunigung finden wir also hier geringer bei den der ungewöhnlichen Brechung folgenden Theilchen; dieses Resultat läßt sich, wie Biot richtig bemerkt, mit der Vorstellung, daß die Axe eine abstoßende Kraft auf die Lichttheilchen, — auf diejenigen nämlich, welche der ungewöhnlichen Brechung folgen, — ausübt, vereinigen, indem diese Kraft, weil die Lichttheilchen in diesem Falle immer senkrecht auf die Axen treffen, nur zu Verminderung der Geschwindigkeit beiträgt, und daher die dieser zurückhaltenden Kraft unterworfenen Theilchen sich nicht so sehr beschleunigen, als die im gewöhnlichen Strahle enthaltenen, das ist, die dieser Kraft nicht unterworfenen Theilchen.

Aber bei den doppelt brechenden Körpern darf man nicht annehmen, daß die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des ungewöhnlich gebrochenen Strahls gleich sei für alle Richtungen des eindringenden Strahls, sondern, wenn dieser im Innern fortgehende Strahl mit der Axe zusammenfällt, vereinigt er sich nicht allein der Richtung nach mit dem gewöhnlich gebrochenen, sondern hat auch eben die Geschwindigkeit, statt daß bei einer gegen die Axe senkrechten Richtung diese Geschwindigkeit des ungewöhnlich gebrochenen Strahles in dem eben vorhin angegebenen Grade geringer ist. In Fällen, wo der im Innern fortgehende Strahl irgend eine Neigung gegen jene optische Axe hat, erhält man eine, nach Maaßgabe der Neigung verschiedene Geschwindigkeit.

Der zweite merkwürdige Fall, welcher sich darbietet, wenn die Oberfläche, durch welche der Strahl eintritt, die Axe selbst in sich enthält, ist der, wo der Strahl in der durch die Axe und das Einfallsloth gehenden Ebne sich befindet. Auch in diesem Falle geht der ungewöhnlich gebrochene Strahl so wenig, als der gewöhnlich gebrochene, aus der durch das Einfallsloth und den einfallenden Strahl gelegten Ebne heraus, weil die abstoßende Kraft, die wir der Axe beilegen, hier in eben derselben Ebne wirkt; aber der ungewöhnlich gebrochene Strahl entfernt sich mehr als der gewöhnlich gebrochene Strahl von dieser Axe, so daß wenn (Fig. 130.) **AB** die Oberfläche und zugleich die Richtung der in ihr liegenden Axe darstellt, **KL** der einfallende Strahl, **LP** das Einfallsloth ist, **LE** den ungewöhnlich gebrochenen, **LO** den gewöhnlich gebrochenen Strahl darstellen würde. Für den gewöhnlich gebrochenen Strahl findet auch hier eben das Verhältniß der Sinus, wie vorhin, statt; aber für den ungewöhnlich gebrochenen Strahl gilt ein andres Gesetz, das sich in einer Zeichnung darstellen läßt.

Wenn der einfallende Strahl in einer durch das Einfallsloth auf die Axe senkrechten Ebne lag, so fand für den ungewöhnlichen Strahl das Gesetz für die Sinus der Winkel eben so wie bei dem gewöhnlichen Strahle statt, nur daß das Brechungsverhältniß ein andres ist. Eine Zeichnung, der früher angewandten ähnlich, giebt hier die Richtung beider Strahlen, indem man beide Senkrechten auf das Einfallsloth nach den oben angegebenen Zahlen, also **NO = 0,60. LM** (Fig. **131.**) und **no = 0,67. LM** eintragen, und **AO** als gewöhnlich, **AoE** als ungewöhnlich gebrochenen Strahl zeichnen müßte; aber es läßt sich dies noch bequemer thun. Man zeichne zwei Kreise, deren Halbmesser sich (Fig. **131.**) wie **604** zu **674** verhalten, um den Einfallspunct **A**; man bestimme in dem ersten auf die gewöhnliche Weise den Punct **O**, um die Lage des gewöhnlich gebrochenen Strahles zu erhalten und ziehe die Berührungslinie an **O**, welche die Brechungsfläche in **K** schneidet; zieht man nun von **K** eine Berührungslinie **KE** an den zweiten Kreis, so giebt **AE**, nach dem Berührungspuncte **E** gezogen, in diesem Falle den ungewöhnlich gebrochenen Strahl. Es ist nämlich leicht zu zeigen, daß die Senkrechten **NO**, **no**, die in einerlei Kreise gezogen sind, alsdann das

richtige Verhältniß haben *). Diese Zeichnung galt bei der Lage des Strahls in einer auf die Axe senkrechten Ebne; für die Lage des Strahls in einer durch das Einfallsloth parallel mit der Axe des Crystalls gelegten Ebne gilt eine ziemlich übereinstimmende Zeichnung. Man giebt wieder dem Halbmesser **AF** eines um den Einfallspunct **A** (**Fig. 132.**) gezogenen Kreises die Größe von **604** Theilen und trägt **AG = 674** Theilen auf; man zieht nun die mit **AG** parallelen Linien und theilt jede derselben, so weit sie zwischen **AH** und dem Umfange des Kreises liegen, in **604** Theile, verlängert sie aber dann um **70** eben solche Theile, so daß **PO** sich zu **PE** wie **604** zu **674** verhalte; durch die so bestimmten Endpuncte zieht man die krumme Linie **HEG**, welche eine Ellipse wird. Nach diesen Vorbereitungen ist es zuerst leicht, aus der Lage **BA** des einfallenden Strahles die Lage **AO** des gewöhnlich gebrochenen Strahles herzuleiten; und wenn man nun an **O** die Berührungslinie **OK** zieht, so ist **KE** eine Berührungslinie der Ellipse, und die nach dem Berührungspuncte **E** gezogene **AE** die Richtung des ungewöhnlich gebrochenen Strahles.

An diese Regeln schließen sich die für andre Fälle an, die ich indeß hier übergehen will, um nicht zu lange bei strengen geometrischen Constructionen zu verweilen. In diesen andern Fällen, wo die durch den einfallenden Strahl und das Einfallsloth gelegte Ebne weder mit der Axe des Crystalles parallel noch auf sie senkrecht ist, bleibt zwar der gewöhnlich gebrochene Strahl in eben jener Ebne, aber der ungewöhnlich gebrochene bleibt nicht in dieser Ebne, und seine Lage wird durch eine Berührungs-Ebne, die an eine sphäroidische Fläche gelegt wird, bestimmt. — Dieses Sphäroid, dessen beide Axen sich wie die Zahlen **604** und **674** verhalten, ist um so merkwürdiger, da es mit der Form der Lichtwellen in einer Beziehung steht, die ich später noch erwähnen werde.

---

*) Die rechtwinklichen Drei-Ecke **KAO**, **AON**, sind ähnlich, und ebenso **KAE**, **Aon**, also **KA : AO = AO : ON**

AE : KA = on : Ao

das ist **AE : AO = on : ON = 0,674 : 0,604.**

Einige Versuche. Rochon's Micrometer.

Aber ehe ich zu andern merkwürdigen Erscheinungen übergehe, die sich bei der doppelten Brechung zeigen, will ich doch vorher einen Versuch angeben, der, auch wenn man keine nach den angegebenen Richtungen geschnittenen Doppelspathcrystalle besitzt, die Richtung, in welcher die doppelten Bilder gegen einander liegen, bequem wahrnehmen läßt. Wenn man eine grade Linie auf weißem Papier zeichnet und diese unter den Crystall legt, während das Auge senkrecht gegen die Oberfläche des Crystalls herabsieht, so sieht man diese Linie doppelt, als zwei Linien neben einander, wenn ihre Richtung senkrecht gegen diejenige Ecklinie des Crystalles ist, die wir zwischen den stumpfen Winkeln so, daß alle Seitenlinien der obern und untern Seitenfläche gleich werden, ziehen. Ist jene Linie in einer zu dieser Axe parallelen Ebne, so fallen beide Linien auf einander, aber wenn man Abtheilungen auf dieser Linie bemerkt hat, so sieht man diese nach der Längenrichtung der Linie verdoppelt erscheinen. Noch besser als eine solche einfache Linie dient zur Bestimmung der Puncte, von welchen der gewöhnliche und der ungewöhnliche Strahl nach gleicher Richtung ins Auge kommen, ein aufgezeichnetes rechtwinkliches Drei-Eck mit einem sehr spitzen Winkel und eingetheilten Seiten. Dieses zeigt sich, so wie Fig. 133. darstellt, durch den Doppelspath verdoppelt, und indem zum Beispiel der zehnte Theilungspunct der Hypotenuse des einen Bildes mit dem zweiten Theilungspuncte der Basis des andern zusammentrifft, so sieht man, daß der gewöhnlich gebrochene Strahl von einem dieser Puncte und der ungewöhnlich gebrochene Strahl von dem andern in gleicher Richtung zum Auge kommen; befindet sich also das Auge in einer solchen Stellung, daß der von dem Puncte A der Basis des Drei-Eckes BCD kommende gewöhnlich gebrochene Strahl beide Oberflächen des Crystalles senkrecht schneidet, so ist a der Punct desselben Drei-Eckes, von welchem der ungewöhnliche Strahl in eben der gegen A gehenden Richtung zum Auge kömmt. Die Abmessung, die sich dabei ergiebt, ist sehr passend, um den Betrag der Brechung bei verschiedenen Lagen des Crystalles und des Auges kennen zu lernen. Und so wie hier der wahre Abstand derjenigen beiden

Puncte gefunden wird, die in den beiden Bildern als zusammenfallend erscheinen, so kann man auch umgekehrt den Weg beider von demselben Puncte ausgehenden Strahlen bestimmen. Gelangt nämlich (Fig. 135.) der in O eintretende Strahl FO als gewöhnlich gebrochener und der in E eintretende fE als ungewöhnlich gebrochener in der Richtung AB zum Auge B, so sind gewiß OA, OC die beiden von O aus in den Crystall eindringenden Strahlen und OC ist parallel mit EA; der letztere geht nach D fort und erreicht das Auge nicht, statt daß ein etwas schief auffallender Strahl Fo ungewöhnlich nach oa gebrochen, in a einen mit Fo parallelen Strahl aB giebt, welcher das Auge B erreicht.

Diese Zerspaltung des in O eintretenden Strahles FO sieht man am besten, wenn man einen Sonnenstrahl durch eine sehr kleine Oeffnung O eintreten läßt, indem dieser theils nach der Richtung AB, theils nach der mit dieser parallelen Richtung CD hervorgeht und seinen Weg, den man nur im dunkeln Zimmer gut sehen kann, so getheilt fortsetzt.

Diese doppelte Brechung hat zu einer nützlichen Anwendung in Rochon's Micrometer Veranlassung gegeben. Wenn aus einem doppelt brechenden Körper zwei der äußern Form nach gleiche Prismen ABC, BCD, (Fig. 136.) geschnitten werden, die man so, wie die Figur zeigt, verbindet, so wird ein auf AB senkrecht einfallender Strahl, so fern er der gewöhnlichen Brechung folgt, ganz ungebrochen durchgehen; der ungewöhnliche Strahl aber kann eine Brechung erleiden. Zu dem hier beabsichtigten Zwecke schneidet man das erste Prisma so, daß AB eine gegen die Axe des Crystalles senkrechte Ebne ist, also AC dieser Axe parallel ist; das zweite Prisma wird so geschnitten, daß die Axen sowohl in der Ebne BC als in der Ebne CD liegen, also die Richtung der Axe mit der auf BCD senkrechten Seitenlinie des Prisma's zusammenfällt. Aus den Ihnen bekannten Eigenschaften des Crystalles folgt, daß der bei F oder f senkrecht auf AB eindringende Strahl gar nicht gebrochen wird, sondern bis an BC in grader Richtung fortgeht, indem auch die Theile, die sonst der ungewöhnlichen Brechung folgen könnten, doch, parallel mit der Axe fortgehend, keine Brechung leiden. Wenn die Strahlen die Oberfläche BC erreichen, so geht derjenige Theil, welcher der gewöhnlichen Brechung unterworfen ist,

doch immer grade fort, da auch die hier statt findende Lage der Axe für ihn keine Aenderung hervorbringt; aber derjenige Theil des Strahles, der einer ungewöhnlichen Brechung fähig ist, leidet hier eine andre Brechung und geht so wie **G e**, **g e**, zeigen, fort. Der Strahl **L O** tritt ungebrochen hervor und gelangt zum Auge **P**, der Strahl **g e** und ebenso **G E** leiden eine neue Brechung und der erstere gelangt in **P** zum Auge. Wenn der Gegenstand **L** weit entfernt steht, so sind **L g**, **l g** Strahlen, die von einerlei Puncte ausgehen, und das Auge in **P** sieht also den Punct **L** verdoppelt und die beiden Bilder um den Winkel **O P e** von einander entfernt. Dieser Winkel ist bei bestimmter Beschaffenheit des Prisma's immer gleich; er kann aber dennoch zu Abmessung der scheinbaren Größe eines im Fernrohr gesehenen Gegenstandes dienen. Zu diesem Zwecke stellt man (Fig. 137.) das Doppelprisma **A B** zwischen das Objectiv **H I** und den Brennpunct **f**, um statt eines Bildes im Brennpuncte zwei Bilder hervorzubringen; diese Bilder werden allemal in der Gegend des Brennpunctes entstehen, und desto weiter aus einander gerückt sein, je weiter das Doppelprisma **A B** vom Brennpuncte **f** entfernt ist, indem die übereinstimmenden Puncte **F**, **f** beider Bilder so liegen, daß der Winkel **F C f** immer derselbe ist. Stellt man also das Prisma so, daß beide Bilder sich berühren, so läßt sich aus dem bestimmten Abstande des Prisma's vom Brennpuncte die wahre Größe des Bildes, also die scheinbare Größe des Gegenstandes, herleiten.

Diese Micrometer werden gewöhnlich aus Bergcrystall gemacht, der in der Hauptsache gleiche Eigenschaften besitzt, und in sehr reinen Crystallen vorkömmt.

Doppelte Brechung durch mehr als einen Crystall.

Wenn man nach der Kenntniß der bisher betrachteten Erscheinungen die Frage aufwürfe: Was wird erfolgen, wenn jener aus dem einen Doppelspathe hervorgegangene in zwei Strahlen zerspaltene Strahl auf einen zweiten Doppelspath fällt? — so scheint es könne man nur zweierlei vermuthen, entweder daß jeder dieser Strahlen sich wieder ebenso wie bei dem ersten Crystalle verhalte, oder daß die einmal erfolgte Spaltung gar nicht zum zweiten Male

eintreten werde; — und doch sind beide Vermuthungen nicht in dem Sinne richtig, daß eine von ihnen für alle Fälle paßte.

Wir wollen zwei ganz gleiche Crystalle nehmen und diese so über einander stellen, daß die stumpfen Winkel der Grundflächen genau über einander stehen und die Axen der Crystalle unter sich parallel sind. Wenn dann (Fig. 138.) ein Lichtstrahl **B A** senkrecht auf die obere Fläche fällt, so zerspaltet sich, wie Sie wissen, in **A** der Strahl; der gewöhnlich gebrochene, der durch den ersten Crystall ungebrochen ging, trifft den zweiten senkrecht und geht auch hier ungebrochen und unzerspalten durch; der ungewöhnlich gebrochene **A E** wird in **E** beim Hervorgehen in die Luft wieder mit **A o** parallel, in **e**, beim Eintritt in den zweiten Crystall, erleidet er, ohne gespalten zu werden, die ungewöhnliche Brechung und gelangt so nach **p**. Dies scheint grade nicht unerwartet; aber wir wollen einen zweiten Fall betrachten. Noch immer sei die Lage beider Crystalle so, daß ihre oberen und unteren Seiten horizontal bleiben; aber die Axe des einen liege in einer Vertical-Ebne, die senkrecht gegen diejenige ist, in welcher die Axe des andern liegt; so findet bei einem senkrecht auffallenden Strahle **D C** im ersten Crystalle die Spaltung wie gewöhnlich statt; aber obgleich der im ersten Crystalle gewöhnlich gebrochene Strahl **D G** auch auf den zweiten Crystall senkrecht gegen die Brechungs-Ebne trifft, so geht er dennoch hier nicht ungebrochen durch, sondern folgt den Gesetzen der ungewöhnlichen Brechung, jedoch ohne aufs neue gespalten zu werden; und gelangt nach **H**, der ungewöhnlich gebrochene, aus dem ersten Crystall hervorkommende Strahl **L I** dagegen folgt nun im zweiten Crystalle den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung. In diesen zwei Fällen, wo jene Hauptschnitte beider Crystalle mit einander parallel oder auf einander senkrecht waren, zerspalten beide Strahlen sich nicht aufs neue; aber nun wollen wir den einen Crystall ein wenig zu drehen anfangen, während seine obere und untere Seitenfläche noch immer horizontal bleiben. Sobald dies geschieht, fangen beide aus dem ersten Crystall hervorgegangenen Strahlen an, sich im zweiten wieder zu zerspalten; so lange die Abweichung der Hauptschnitte von der parallelen Lage geringe ist, zeigen sich unter den vier nun aus dem zweiten Crystall hervorgehenden Strahlen zwei schwache und zwei stärkere, indem der als

gewöhnlich gebrochen den zweiten Crystall erreichende Strahl sich in einen matteren ungewöhnlich gebrochenen und in einen stärkeren gewöhnlich gebrochenen zerlegt, und der den zweiten Crystall als ungewöhnlicher Strahl treffende sich in einen schwachen, der jetzt den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung folgt, und in einen stärkern, der abermals ungewöhnlich gebrochen wird, zerlegt. Vergrößert man den Winkel der Hauptschnitte gegen einander, so gehen alle vier Strahlen mehr der gleichen Lichtstärke zu, und sind gleich, wenn die Hauptschnitte einen Winkel von 45 Grad mit einander machen; geht man noch weiter fort, so nimmt der Strahl, welcher zuerst der stärkste war, noch mehr ab, und verschwindet völlig, wenn beide Hauptschnitte senkrecht gegen einander sind.

Alle Fälle zeigen sich also hier durch einen stetigen Uebergang verbunden, aber unerwartet und seltsam erscheint dennoch diese Reihe von Erscheinungen. Was den ersten Fall betrifft, so übersieht man ihn am leichtesten; — der zweite Crystall ist nur eine Fortsetzung des ersten, mit genau ebenso angeordneten Axen, und so gut wie der Strahl im ersten Crystalle nach seinem Eintritte, nachdem er die ihm durch den Crystall zu ertheilende Modification erlangt hat, ohne neue Spaltung fortgeht, ebenso thut er dieses auch im zweiten. Alle anderen Fälle dagegen zeigen, daß diese Modification, welche der Lichtstrahl erlangt hat, in einer gewissen Beziehung der Seiten des Strahls zu den Seiten oder Axen des Crystalles steht; die verschiedenen Seiten des Lichtstrahls haben ungleiche Eigenschaften, das Licht ist, wie man es genannt hat, polarisirt.

Aehnliche Bestimmungen für die Wege des Lichtstrahls, wie sie beim Uebergange in einen zweiten Crystall sich hier ergaben, finden auch da statt, wo ein Strahl von der zweiten Oberfläche des Crystalles reflectirt, in das Innere desselben zurückgeht. Auch hier hängt der Weg des reflectirten Strahles ebenso von der Lage der Axen ab, wie es für einen schon im Durchgange durch einen ersten Crystall modificirten eintretenden Strahl der Fall sein würde. Ist der zur zweiten Oberfläche gelangende Strahl ein gewöhnlich gebrochener, so wird der im Innern reflectirte Theil aus einem gewöhnlich gebrochenen Strahle bestehen, der ganz so zurückgeht, wie es in jedem andern Falle statt findet; aber neben ihm geht auch jetzt

ein ungewöhnlicher Strahl zurück, dessen Richtung so bestimmt ist, wie es bei der Brechung geschehen würde, wenn der reflectirte Strahl aus einem einfallenden, gebrochenen entstanden wäre; man muß daher zu dem gewöhnlich reflectirten Strahle die Richtung außerhalb des Crystalles suchen, in welcher ein Strahl einfallen müßte, um jenen Strahl als gewöhnlich gebrochenen hervorzubringen, dann ist der ungewöhnlich gebrochene Theil eben dieses erdichteten Strahles einerlei mit dem eben erwähnten ungewöhnlichen Theile des reflectirten Strahles. Wenn der zur Hinterfläche des Crystalles gelangende Strahl ein ungewöhnlich gebrochener war, so ist die Bestimmung des doppelten, bei der Reflexion hervorgehenden Strahles noch etwas schwieriger. Hier muß man für den gegen die Hinterfläche antreffenden Strahl denjenigen zugehörigen Strahl suchen, der als gewöhnlich gebrochener Strahl in den Crystall eindringen würde, wenn unser ungewöhnlicher Strahl durch Spaltung eines von außen antreffenden Strahles entstanden wäre; die beiden aus Reflexion im Innern entstehenden Strahlen, die dem ungewöhnlichen zugehören, sind dann eben die, welche diesem bloß fingirten gewöhnlich gebrochenen Strahle entsprechen würden.

Crystalle mit zwei Axen doppelter Brechung.

Ich habe mich hier meistens an die Erscheinungen im Doppelspath gehalten; aber andre Körper, die nur eine Axe doppelter Brechung haben, zeigen, zweckmäßig geschnitten, ganz ähnliche Erscheinungen, und die durch sie durchgegangenen Strahlen sind ebenso modificirt, wie beim Doppelspath. Andre Crystalle zeigen sich dagegen als solche, die zwei Axen doppelter Brechung haben. In diesen giebt es zwei Linien, welche die Eigenschaft besitzen, daß ein im Innern der Richtung der einen oder der andern folgender Strahl nicht die Erscheinungen der doppelten Brechung zeigt, obgleich bei allen andern Richtungen des Strahles diese beobachtet wird. In diesen Crystallen giebt es keinen Strahl, der den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung gemäß gebrochen wird, oder mit andern Worten, die Geschwindigkeit im Innern des Crystalles ist für keine der beiden Abtheilungen, worin der Strahl sich spaltet, in allen Fällen gleich, sondern, so wie wir es von dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle in den einaxigen Crystallen schon gesehen haben,

daß seine Geschwindigkeit bei verschiedenen Richtungen gegen die Axe eine andre ist, so findet es hier bei beiden statt. Aber auch in den zwei=axigen Crystallen giebt es gewisse Ebnen, in welchen einer der Strahlen, er mag in ihnen welche Richtung man will erlangen, gleiche Geschwindigkeit behält. Eine dieser Ebnen findet man, wenn man sich im Crystall die beiden, sich durchschneidenden Axen gezogen denkt, dann eine Linie zieht, die den von ihnen gebildeten Winkel halbirt, und eine Ebne auf sie senkrecht legt; in dieser Ebne behält der eine Strahl bei jeder in ihr liegenden Richtung gleiche Geschwindigkeit. Die andre Ebne, worin der andre Strahl immer gleiche Geschwindigkeit behält, ist senkrecht auf jene und auf die durch beide Axen gelegte Ebne, muß also zugleich durch die den Winkel der Axen halbirende Linie gehen. — Daß alle, diesen zwei Ebnen parallele Ebnen gleiche Eigenschaft besitzen, darf ich wohl nur obenhin erwähnen, da es eigentlich die Axen der integrirenden Theile des ganzes Crystalles sind, die hier verstanden werden müssen.

Die Versuche, die man, um sich von diesen Gesetzen zu überzeugen, angestellt hat, will ich hier übergehen; so wie ich auch des jüngern Herschel merkwürdige und auffallende Entdeckung, daß in zwei=axigen Crystallen die Axen für die rothen Strahlen nicht genau mit denen für die grünen oder blauen oder violetten übereinstimmen, sondern jeder Farbenstrahl sein eignes, jedoch immer in einerlei Ebne liegendes Axenpaar hat, nur obenhin anführen kann.

Uebereinstimmung der geometrischen Axen mit den optischen Axen.

Nach Brewster's Bestimmung giebt es gewisse Arten von Kerngestalten der Crystalle, welche einfache Brechung, welche doppelte Brechung mit einer Axe, welche doppelte Brechung mit zwei Axen geben. Sie erinnern sich, daß wir früher nach Haüys Angaben, die von andern Mineralogen vielfältig verbessert und vervollständigt sind, jeden Crystall als aus gleichen kleinen Crystallen, (nicht allemal dem Ganzen ähnlich,) zusammengesetzt ansahen. Von der Gestalt dieser Crystalle hängt es ab, welche von den drei Brechungen statt findet.

Der Würfel hat durchaus keine Linie, die als nur einmal vorkommend, als einzig in ihrer Art könnte angesehen werden, sondern überall bieten sich uns mehr übereinstimmende Axen dar. Ziehen wir eine Linie zwischen der Mitte zweier paralleler Seiten, so ist das allerdings eine Axe, aber die beiden andern Seitenpaare geben ebensolche Axen, und alle drei sind auf einander senkrecht. Ist der Crystall ein regelmäßiges Octaëder (Fig. 139.), das heißt, besteht er aus zwei vierseitigen Pyramiden, deren Grundflächen zusammenfallen, und deren Seitenflächen gleichseitige Drei-Ecke sind, so ist freilich die Linie **AB** eine Axe, aber **CD** auch, **EF** auch, und alle drei auf einander senkrecht. Solche Crystalle brechen das Licht nie doppelt. Ist dagegen der Crystall statt eines Würfels ein Rhomboid, wie der Kalkspath, so daß eine bestimmte Linie als einzige Axe hervortritt, so bricht der Crystall, als einaxiger Crystall das Licht doppelt. Eben das ist der Fall, wenn im Octaëder zwar **CEDF** ein Quadrat bleibt, aber die beide Spitzen nicht aus gleichseitigen Drei-Ecken, sondern aus gleichschenklichen gebildet sind; dann ist **BA** die einzige Axe und der Crystall bricht das Licht dieser Form gemäß doppelt. Andre Mineralien haben zwei geometrische Axen, zum Beispiel das vierseitige Prisma mit nicht quadratischer Grundfläche, wie der Topas, dessen Crystalle prismatisch mit rautenförmiger Basis sind. Brewster führt die hieher gehörigen Betrachtungen noch weiter aus, indem er zeigt, wie zwischen den mehreren Linien, die man Axen nennen könnte, zum Beispiel im Rhomboid zwischen den von der Mitte einer Seite zur Mitte der gegenüberliegenden gezogenen, sich jene eine Haupt-Axe als gegen diese Axen symmetrisch liegend ergiebt, und so weiter.

An diese Bestimmung, welche die genaue Verbindung zwischen der geometrischen Gestalt des Crystalles und seiner Einwirkung auf das Licht zeigt, hat Mitscherlich die ganz neue Bemerkung gefügt, daß auch bei der Ausdehnung durch die Wärme die Crystalle sich nach ähnlichen Gesetzen verschieden zeigen. Die Crystalle, welche keine doppelte Strahlenbrechung zeigen, dehnen sich nach allen Seiten gleich aus und ihre Winkel bleiben bei jeder Erwärmung ungeändert. Die Crystalle mit einer Axe dehnen sich nach der Richtung der Axe anders aus, als nach den übrigen Richtungen, und daher ändern sich die Winkel dieser Crystalle bei zunehmender Er-

wärmung. In den Crystallen mit zwei Axen ist die Ausdehnung nach allen drei Richtungen verschieden, statt daß in denen mit einer Axe die Ausdehnung nach den beiden Dimensionen, welche auf die eine Axe senkrecht sind, gleich ist *).

Endlich steht hiemit auch noch Fresnel's Bemerkung, daß man selbst das Glas durch ungleichen Druck doppelt brechend machen kann, in Verbindung. Fresnel verband vier Prismen A, B, C, D, die neben einander gelegt waren, (Fig. 140.) so, daß sie vermittelst eines nach der Längenrichtung gehenden starken Druckes in eine ungewöhnliche Spannung ihrer Theilchen versetzt wurden; die Zwischenräume wurden nun durch andre Prismen E, F, G, H, die keinem Drucke ausgesetzt wurden, ausgefüllt; ein auf die Vorderfläche 1m treffender Strahl ging dann durch diese vermittelst eines Firniß zu einer Masse verbundenen Gläser und zeigte sich an der Hinterfläche als gespalten, als doppelt gebrochen, wie es bei den doppelt brechenden Crystallen der Fall ist.

Theoretische Betrachtungen über die doppelte Brechung.

Die Erklärung dieser Erscheinungen hat nicht unbedeutende Schwierigkeiten. Folgen wir zuerst Newton's Ansicht, so müssen wir offenbar einräumen, daß die Lichttheilchen nicht alle einer gleichen Anziehung ausgesetzt sind, daß nämlich in den Crystallen mit einer Axe zwar einige Lichttheilchen, nämlich die der gewöhnlichen Brechung folgenden, eine immer gleiche Geschwindigkeit erlangen, die übrigen aber eine nach der Lage des Strahles gegen die Axe ungleiche Geschwindigkeit annehmen. Hier würde es uns nun freilich nicht so sehr überraschen, eine von der Richtung der Axe abhängende Anziehungskraft zu bemerken, da alle Crystallisation auf einer regelmäßig ungleich vertheilten Anordnung der Materie zu beruhen scheint; aber der Grund, warum nur einige Lichttheilchen der einen Art von Anziehung folgen, andre Theilchen der andern, bleibt völlig unerklärt. Bemerkenswerth ist es indeß, daß Laplace aus der bloßen Voraussetzung, daß die Geschwindigkeit der Theilchen im ungewöhnlichen Strahle nach einem bestimmten Gesetze veränderlich sei, die für die doppelte Brechung geltenden

*) Gilb. Ann. LXIX. 1. Poggend. Ann. X. 137.

Gesetze, als hieran nothwendig geknüpft, nachgewiesen hat, und es läßt sich wohl annehmen, daß ein in der Lage der Theilchen liegendes Gesetz der Anziehung diese Gesetze der ungewöhnlichen Brechung noch genauer begründen könnte. Aber warum sind nur einige Lichttheilchen dieser Kraft ausgesetzt? — Die Beantwortung dieser Frage ist offenbar mit der zweiten Frage sehr nahe verbunden, warum die bestimmte Lage eines zweiten Crystalles, die schon durch einen Crystall gegangenen Strahlen zu ungleichen Brechungen veranlaßt. Schon Newton hat geäußert, es müsse hier auf Eigenschaften ankommen, die der einen Seite des Strahles anders als der andern Seite eigen sind, und Biot hat diese Ansicht, die in neuern Zeiten noch auf andre Weise neue Stützen fand, sehr vollständig ausgebildet. Ich glaube die Hauptbestimmungen seiner Ansicht in folgende Darstellung fassen zu können.

Obgleich wir von der Gestalt und sonstigen Beschaffenheit der Lichttheilchen so wenig wissen, so finden wir uns doch hier genöthigt, ihnen eine durch besondre Eigenschaften ausgezeichnete Axe beizulegen. Die im gewöhnlichen Sonnenstrahle oder in andern Lichtstrahlen zu uns gelangenden Lichttheilchen haben diese Axe nach den mannigfaltigsten Richtungen gewandt, und behalten auch diese mannigfaltigen Richtungen bei der Brechung in den einfach brechenden Körpern; die doppelt brechenden Körper aber besitzen die Eigenschaft die Axen der Lichttheilchen in bestimmte Richtungen zu zwingen, die Lichttheilchen zu polarisiren. Wenn man sich durch den Weg des Strahles im Innern des Körpers und die Axe der Crystalltheilchen, die der Strahl trifft, eine Ebne gelegt denkt, so läßt sich das Verhalten des Strahles bei den wiederholten Brechungen aus der Voraussetzung erklären, daß die Lichttheilchen des im doppelt brechenden Crystall gewöhnlich gebrochenen Strahls ihre Axen in dieser Ebne haben, statt daß die Axen der den ungewöhnlich gebrochenen Strahl bildenden Theilchen senkrecht gegen die durch die Bahn des ungewöhnlichen Strahles und die Axen der Crystalle gelegte Ebne sind. Der Crystall muß also eine Kraft besitzen, die Lichttheilchen aus ihrer ganz verschiedenen Stellung in jene zwei geordnete Stellungen zu bringen, und die Lichttheilchen müssen sogleich beim Eintritte in den Crystall diese Stellungen annehmen, welche sie dann nicht nur beim Fortgange

im Crystalle selbst, sondern auch nach ihrem Wiederhervorgehen in die Luft behalten. Die eine dieser Stellungen machte die Lichttheilchen geeignet, auch in diesem Crystalle der gewöhnlichen Brechung zu folgen, statt daß die andre Stellung sie der ungewöhnlichen Brechung unterwirft. Erreicht nun der eine oder der andre dieser Strahlen einen Crystall, dessen Axen denen des vorigen parallel sind; so ist kein Grund, warum sich die Stellung der Axen ändern sollte, und da sie auch hier gegen die Axe des zweiten Crystalles eben die Lage, wie im ersten haben, so befolgen sie auch gleiche Brechungsgesetze; der gewöhnlich gebrochene folgt ganz den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung, der ungewöhnliche den der ungewöhnlichen Brechung. Stellt man dagegen den zweiten Crystall so, daß seine Axe in einer gegen die durch den Strahl und die Axe des erstern gelegten Ebne, senkrechte Ebne ist; so ist zwar wieder kein Grund, warum die Axen der Lichttheilchen ihre Lage ändern sollten, aber die in dem zuerst gewöhnlich gebrochenen Strahle fortgehenden Theilchen haben jetzt die Lage, welche nach der Stellung des zweiten Crystalls eine ungewöhnliche Brechung zur Folge hat, und die Theilchen in dem Strahle, der ungewöhnlich gebrochen war, haben die der gewöhnlichen Brechung entsprechende Lage, und jeder der beiden Strahlen folgt daher hier andern Gesetzen, als im ersten Crystalle, ohne doch in zwei neue Strahlen zerspalten zu werden.

Und nun läßt sich auch der allgemeine Fall, da die durch den Strahl und die Axen des zweiten Crystalles gehende Ebne eine schiefe Richtung gegen diejenige hat, wornach sich die Lage der Lichttheilchen im ersten Crystall richtete, leicht beurtheilen. Sowohl die Theilchen des einen als die des andern aus dem ersten Crystall kommenden Strahles haben nicht die von der Axe des zweiten Crystalles geforderte Lage; die Einwirkung dieses Crystalles bringt sie also wieder in zwei Abtheilungen, aber die Menge der für die eine Abtheilung ausgewählten Theilchen ist nicht mehr der Menge der für die andre bestimmten gleich, sondern größer für diejenigen, die am wenigsten aus ihrer bisherigen Richtung gebracht werden. Ist also die Ebne des zweiten Crystalles, in welcher die den gewöhnlichen Gesetzen folgenden Theilchen ihre Axen haben müssen, nur um 10 oder 20 Grad von der Ebne entfernt, in welche der erste

Crystall die Theilchen des gewöhnlich gebrochenen Strahls gebracht hatte, so nehmen die meisten im gewöhnlich gebrochenen Strahl enthaltenen Theilchen die Lage jener Ebne an, statt daß wenige sich in die der ungewöhnlichen Brechung angehörende Ebne stellen, oder mit andern Worten: der gewöhnlich gebrochene Strahl des ersten Crystalls zerlegt sich in einen ziemlich starken gewöhnlich gebrochenen und in einen schwachen ungewöhnlich gebrochenen Strahl. Aehnliche Bestimmungen ergeben sich für den im Zustande der ungewöhnlichen Brechung durch den ersten Crystall gegangenen Strahl, und für einen größern Winkel, den beide Hauptschnitte mit einander machen.

Diese Darstellung, wenn sie auch zu hypothetisch scheinen mag, um als den wahren Grund der Erscheinungen aussprechend angesehen zu werden, bringt doch wenigstens die bis jetzt betrachteten Erscheinungen in einen Zusammenhang, der die Uebersicht der mannigfaltigen Phänomene sehr erleichtert, und hat in dieser Hinsicht gewiß einen hohen Werth.

Die Undulationstheorie bietet für einen Theil der Erscheinungen eine sehr angemessene Erklärung dar. Schon Huyghens hatte dieses mit dem ihm eigenthümlichen großen Scharfsinne gezeigt, da indeß die neuern Entwickelungen der Undulationstheorie eine noch angemessenere Darstellung gegeben haben, so will ich nur diese hier in einem kurzen Abrisse mittheilen. Die gewöhnliche Bestimmung der Fortpflanzung der Aetherwelle setzt voraus, daß der Aether nach allen Richtungen gleich elastisch sei, und in der That kann auch wohl kein andrer Fall da angenommen werden, wo die Körpertheilchen, zwischen welchen der Aether enthalten ist, eine gleichmäßige Austheilung haben; aber in einem crystallisirten Körper ist es nicht unmöglich, daß die nach bestimmten Richtungen anders als nach den übrigen Richtungen wirkenden Attractionskräfte dem Aether eine andre Elasticität nach der einen als nach der andern Richtung geben, oder bewirken, daß die von ihrem Gleichgewichtszustande entfernten Theilchen nach der einen Richtung mit mehr Gewalt als nach der andern zu demselben zurück geführt werden. Nimmt man eine solche Ungleichheit an, so ist die Gestalt einer von einem Mittelpuncte ausgehenden Welle nicht mehr kugel-

förmig, sondern sphäroidisch oder ellipsoidisch *), und ihre Fortpflanzung von dem Puncte, wo sie ausgeht, stellt sich, als unter sich ähnlichen Ellipsoiden um jenen Punct entsprechend, dar. Da wo eine Lichtwelle einen Crystall trifft, entstehen so um die Puncte, wo sie nach und nach die Oberfläche desselben erreicht, solche ellipsoidische Wellen, und die Fortpflanzung des Strahles hängt nun nach eben den Regeln von der gemeinschaftlichen Wirkung dieser Wellen, wie in den frühern Betrachtungen von den sich gleichsam in einander verlaufenden Kreiswellen **) ab; und da zeigt sich, daß die Richtung des auf diese Weise im Innern des Crystalles fortgepflanzten, ungewöhnlich gebrochenen Strahles nach den Gesetzen bestimmt wird, die ich bei den Crystallen mit einer Axe nachgewiesen habe.

Diese theoretische Bestimmung ist unstreitig von einem sehr bedeutenden Werthe; aber eine große Schwierigkeit scheint sie dennoch übrig zu lassen. Sie wissen, daß in diesen Crystallen nicht bloß ein ungewöhnlich gebrochener Strahl, sondern auch ein gewöhnlich gebrochener Strahl vorhanden ist, und daß wir also zwei Systeme von Wellen, ein kugelförmiges und ein elliptisches, annehmen müssen, folglich auch zwei Arten von Aether, deren einer nach allen Richtungen gleich elastisch der einen Art von Aetherwellen ihre Entstehung giebt, der andre der andern Art von Wellen. Poisson bemerkt zwar nicht mit Unrecht, so gut wie Lichtwellen und Schallwellen in der Atmosphäre zugleich fortgehen, jene im Aether, diese in der Luft fortgepflanzt, so lasse sich auch hier ein zweifaches System von Wellen annehmen ***); aber ganz treffend scheint diese Vergleichung doch nicht zu sein, und daher der Vorwurf, daß man zwei Aether-Arten bedürfe, immer noch zu bestehen. Dieses ist die eine Schwierigkeit. Eine zweite scheint mir, wenn sie nicht etwa in der Unvollkommenheit meiner Einsicht in

---

*) Ein Sphäroid hat nur eine Axe und alle darauf senkrechte Querschnitte sind Kreise, statt daß die durch die Axe gehenden Schnitte Ellipsen sind; beim Ellipsoid sind auch die auf jene Axe senkrechten Schnitte Ellipsen.

**) Aehnlich dem, was bei der Reflexion gezeigt ist.

***) Annales de chim. et phys. XXII. 257.

dieses System liegt, die zu sein, daß auch beim Durchgange durch die Luft die Eigenschaft der Wellen, die vermöge jenes zweiten Aethers erlangt ist, fortdauert, und daß sie nun in dem zweiten Crystalle wieder die den dortigen zwei Wellensystemen entsprechenden Veränderungen annimmt. Ich werde bald noch etwas mehr von den Bemühungen, diesen bleibend ungleichen Zustand beider Lichtstrahlen zu erklären, sagen, aber auch dann das Bekenntniß wiederholen müssen, daß mir hier noch viel Dunkelheit übrig zu bleiben scheint.

Siebzehnte Vorlesung.

Die neulich betrachteten Erscheinungen, welche darauf hinwiesen, daß der Lichtstrahl bei seinem Durchgange durch den doppelt brechenden Crystall eine bleibende Modification erhalten habe, und nun nicht mehr an allen Seiten gleich sich darstelle, haben ein ganzes Jahrhundert lang allein da gestanden, ohne durch andre Versuche mehr aufgeklärt zu werden; aber endlich hat sich eine Reihe neuer Phänomene, wobei das Licht eine eben solche Polarisirung erleidet, den Beobachtern dargeboten.

Der von einem Spiegel zurückgeworfene Strahl wird nicht immer von einem zweiten Spiegel reflectirt.

Wir sind gewohnt, anzunehmen, daß da, wo ein Lichtstrahl auf eine Spiegelfläche fällt, unbedingt in allen Fällen eine Zurückwerfung eintreten müsse; aber wenn dieser Spiegel eine unbelegte Glasplatte oder ein geschliffener Obsidian *) oder ein ähnlicher Körper ist, so leidet diese Behauptung eine regelmäßige und seltsam scheinende Ausnahme, die Malus zuerst entdeckt hat. Man bedient sich zu dem Versuche am besten in Ermangelung des Obsi-

*) Ein dunkles glasartiges Mineral.

dians eines gewöhnlichen, aber auf der Hinterseite geschwärzten Glases; durch dieses Ueberziehen der Hinterfläche mit schwarzer Tusche oder einem ähnlichen Stoffe raubt man dieser die Fähigkeit, das Licht zu reflectiren, erhält so die Strahlen bloß von der Vorderseite, und wird nicht durch die jenseits des Glases liegenden Gegenstände gestört. Hier zeigen sich nun folgende Erscheinungen. Fällt von einer Lichtflamme der Strahl auf eine solche Spiegelplatte, so wird er bekanntlich bei jedem Einfallswinkel reflectirt; aber dieser reflectirte Strahl ist nicht immer fähig von einer eben solchen zweiten Spiegelfläche abermals zurückgeworfen zu werden, sondern wenn der Strahl eine Neigung von 34 Gr. gegen die erste Spiegelfläche hatte, so kann man die zweite Spiegelfläche so stellen, daß er gar nicht reflectirt wird. Um den Versuch anzustellen, dient am besten die von Biot angegebene Einrichtung. Man läßt (Fig. 141.) auf einem Gestelle mehrere parallele Ringe C, D, E, so an einander befestigt aufstellen, daß sie ein offenes Rohr bilden, oder daß ihre Mittelpuncte in grader Linie liegen. An dem Verbindungsstücke dieser Ringe ist bei F ein Gradbogen GH fest angebracht und ein Spiegel von der vorhin erwähnten Art ist an F so befestigt, daß er sich um F, den Mittelpunct des Kreisbogens, drehen läßt. Diesem Spiegel giebt man die Neigung von 34 Gr. gegen die Axe der Röhre, und stellt die Flamme so, daß ein bei O stehendes Auge sie in der Mitte der Röhre im Spiegel sieht. In dem ersten Ringe E ist ein beweglicher Ring, der sich nämlich in der Fassung E um die gemeinschaftliche Axe des Rohres drehen läßt, mit diesem ist ein Gradbogen MN verbunden und ein um dessen Mittelpunct K beweglicher Spiegel KL. Stellt man nun auch diesen auf 34 Gr. das heißt so, daß der durch die Axe des Rohres gehende Strahl 34 Grad mit der Ebne des Spiegels macht, so ist alles zu dem Versuche vorbereitet. Da der Ring E und mit ihm der Spiegel um die Axe des Rohres gedreht werden kann, so wollen wir den Versuch mit derjenigen (auf dem Rande des bei E befindlichen Kreises bemerkten) Stellung anfangen lassen, wo beide Spiegel parallel sind; sieht man bei dieser Stellung des Spiegels von P her in denselben, so erblickt man die gespiegelte Lichtflamme, nämlich ihr im ersten Spiegel dargestelltes Bild im zweiten Spiegel, ohne etwas Ungewöhnliches zu bemerken; aber schiebt man nun den

Ring E in seiner Fassung fort, so daß der Spiegel nach und nach einen Umlauf um die Axe des Rohres macht, so sieht man das Bild der Flamme, wenn man auch die Stellung P des Auges so ändert, daß man sie im Spiegel sieht, allmählig matter werden, und wenn die Drehung von der ersten Stellung an um 90 Grade fort gegangen ist, verschwindet dieses Bild fast gänzlich, so daß man beinahe strenge sagen kann, die einmal reflectirten Strahlen sind nun für eine zweite Reflexion unfähig geworden.

Diese merkwürdige Erscheinung, daß die einmal reflectirten Strahlen nur bei bestimmter Stellung des zweiten Spiegels zurückgeworfen werden, läßt sich, wenn man die Stellung der Spiegel, so daß sie 34 Grad gegen den Strahl geneigt sind, voraussetzt, so ausdrücken, daß die zweite Reflexion ohne Schwierigkeit statt findet, wenn beide Reflexions-Ebnen zusammenfallen, und daß die Reflexion gänzlich verschwindet, wenn eben diese Ebnen auf einander senkrecht sind. Wenn Sie überlegen, daß bei paralleler Stellung der Spiegel das zweimal zurückgeworfene Bild sich zeigt, daß bei einer Drehung des Ringes E um 90° nach einer oder der andern Seite das Bild verschwindet, und — was ich zum Vorigen noch hinzufügen muß, — daß es bei einer über 90° fortgehenden Drehung allmählig wieder erscheint und bei 180° seine ganze Helligkeit wieder erhält; so werden Sie diese Ausdrücke gewiß verstehen.

Wählt man für die Stellung der Spiegel an den Gradbogen einen von 34° verschiedenen Winkel, so verliert zwar bei der Drehung des zweiten Spiegels das Bild an Glanz, aber nicht in so bedeutendem Maaße, und jener Winkel heißt daher der eigentliche Polarisationswinkel, und die unter diesem Winkel zurückgeworfenen Strahlen heißen polarisirte Strahlen, polarisirtes Licht.

Da es angenehm ist, einen so merkwürdigen Versuch auch ohne Hülfe von Instrumenten anstellen zu können, so will ich noch eine zwar minder vollkommene, aber leicht einzurichtende Anordnung des Versuches angeben. Man legt (Fig. 142.) ein gewöhnliches dreieckiges Lineal, dessen Winkel A man zu 34 Grad hat schneiden lassen, horizontal, stellt in a b ein gutes ebnes Glas, das man an der Hinterseite mit Tusche geschwärzt hat, vertical auf,

und giebt der Lichtflamme L die Stellung, daß das bei B gehaltene Auge die Flamme bei c gespiegelt sieht; dann ist die Reflexions-Ebne horizontal und der Reflexionswinkel 34 Grad. An B wird nun ein keilförmig geschnittener Körper ef gesetzt, der auch einen Winkel von 34 Grad hat, so daß ein auf ihn befestigtes, gegen den Horizont geneigtes, hinten geschwärztes Glas den horizontal zurückgeworfenen Strahl unter diesem Winkel empfängt, und nun stellt man das Auge oberhalb ef so, daß man im Spiegel ef das in ab dargestellte Bild der Lichtflamme sieht; dieses erscheint sehr matt, statt daß es sogleich lebhafter wird, wenn man die Stellung des zweiten Spiegels erheblich ändert. Die zweite Reflexions-Ebne ist hier vertical, statt daß die erste horizontal war.

Diese Erfahrung, daß der Lichtstrahl unter gewissen Umständen der Zurückwerfung nicht mehr unterworfen ist, leitet wohl von selbst zu der Frage, ob denn etwa alles Licht durchgelassen wird, und diese Vermuthung findet sich bestätigt. Zwar ist, wenn man die Strahlen bei der zweiten Spiegelung nicht auf einem an der Hinterseite geschwärzten, sondern auf einem durchsichtigen Glase auffängt, die Menge des durchgehenden Lichtes in allen Fällen, auch dann, wenn erheblich viel Licht zurückgeworfen wird, so groß, daß man die Vermehrung in dem Falle, wo kein Licht reflectirt wird, nicht so auffallend bemerkt; aber wir werden bald Erscheinungen kennen lernen, die in der Färbung des Lichtes uns die deutlichsten Beweise für die Durchlassung derjenigen Strahlen geben, welche bei der Stellung des Spiegels auf 90° der Zurückwerfung entzogen werden.

Wenn man statt der Lichtflamme das Licht einer weißen Wolke oder des bedeckten Himmels einfallen läßt, (der blaue Himmel ist nicht so passend dazu,) so sieht man, in den Spiegel KL blickend, (Fig. 141.) das Bild des hellen Himmels dunkel, fast schwarz werden, und überzeugt sich, daß auch diese Strahlen fast gänzlich ihre Fähigkeit, zurückgeworfen zu werden, verlieren. Zwar tritt kein gänzliches Unsichtbarwerden ein, aber so auffallende Dunkelheit, daß man die Wirkung hier, so gut, wie bei der Lichtflamme, wenn gleich auch diese nicht völlig unkenntlich wird, durchaus nicht verkennen kann.

Gesetz, nach welchem der Polarisationswinkel sich bestimmt.

Man bedient sich bei diesem Versuche am besten des Glases oder glasartiger Körper, aber keinesweges sind diese allein zu Hervorbringung der Polarisirung geeignet. Wenn an unserm Instrumente die Röhre so gestellt wird, daß statt des ersten Spiegels **F** eine horizontale Wasserfläche dient, so findet man, indem man als zweiten Spiegel den Glasspiegel behält und ihn auf dem Polarisationswinkel von 34 Grad läßt, die Stellung der Lichtflamme aber bald höher bald tiefer wählt, und die Röhre so neigt, daß das im Wasser gespiegelte Bild seine Strahlen auf **LK** wirft, ein eben solches Verschwinden des Spiegelbildes nur mit dem Unterschiede, daß der Wasserspiegel ungefähr 37^0 geneigt gegen die Axe der Röhre sein muß, wenn der Erfolg am besten sein soll, oder daß hier der Polarisationswinkel 37^0 ist, statt 34^0 beim Glase. Brewster giebt an, daß eine Diamantfläche die Polarisirung bei 22^0 Neigung hervorbringt, und so hat jeder Körper einen andern ihm zugehörigen Winkel der vollkommensten Polarisirung; aber die mit dem Lichtstrahle vorgegangene Veränderung zeigt sich in allen Fällen als dieselbe.

Dieser Polarisationswinkel steht in einer merkwürdigen Beziehung zu der Stärke der Brechung, welche das Licht in den verschiedenen Körpern leidet. Nach Brewster's Entdeckung ist nämlich der Polarisationswinkel derjenige Einfallswinkel, bei welchem der eindringende, gebrochene Strahl mit dem zurückgeworfenen Strahle einen rechten Winkel macht. Sie wissen, daß im Glase für den gebrochenen Strahl **BE** (Fig. 143.) der Winkel **FBE** leicht aus dem Winkel **ABC**, den der einfallende Strahl **AB** mit dem Einfallslothe **BC** macht, bestimmt wird, und daß für den reflectirten Strahl **BD** der Winkel **CBD = CBA** ist. Nun findet man für Glas, dessen Brechungsverhältniß $\frac{2}{3}$ ist, daß mit dem Neigungswinkel $= 34^0 =$ **ABG**, oder **ABC** $= 56^0$, der Winkel **EBF** $= 33^0. 33'.$ zusammen gehören würde, also **DBE** $= 34^0 + 56^0\ 27' = 90^0. 27'$ sein würde; — das Glas müßte das Brechungsverhältniß 0,6745 oder beim Hervorgehen des Strahles 1,4826 haben, wenn genaue 90^0

herauskommen sollten, oder wenn der Polarisationswinkel ganz genau 34° sein sollte*). Hingegen ein Flintglas von der Brechung = 1,64 fordert hiernach einen Winkel von 31° 20′, um die vollkommenste Polarisirung hervorzubringen.

Dies Gesetz findet selbst da statt, wo der Lichtstrahl nicht aus Luft, sondern aus einem andern flüssigen Körper in einen festen Körper übergeht. Bedeckt man das Glas mit Terpentin-Oel, so leidet der Lichtstrahl beim Uebergange aus diesem in Glas gar keine Brechung und der Einfallswinkel muß daher 45° sein, damit der eindringende und der zurückgeworfene Strahl einen rechten Winkel mit einander machen, und wirklich findet man 45° dann als Polarisationswinkel.

Bei einigen Körpern, namentlich solchen, die einen kleinen Einfallswinkel fordern, wird das Licht nicht vollständig polarisirt; hier nämlich beträgt der, nach Verschiedenheit der Körper sehr ungleiche, Antheil von Licht, der bei der Zurückwerfung nicht polarisirt wird, so viel, daß man keine so vollständige Erfolge wie bei andern Körpern wahrnimmt. Daß aber überhaupt bei keinem Einfallswinkel eine durchaus vollkommene Polarisirung statt finden kann, scheint schon aus der ungleichen Brechung der Farbenstrahlen zu erhellen; denn beim Fraunhofer'schen Flintglase müßten die rothen Strahlen bei 31° 34′, die violetten bei 30° 53′ vollkommen polarisirt sein; es bleibt also bei jedem Winkel noch etwas unpolarisirtes Licht übrig, und mit diesem verbindet sich dasjenige, welches als zerstreutes Licht von der Oberfläche zurückgegeben dieser Veränderung gar nicht unterworfen ist.

Für diejenigen Körper, die nicht wegen der zu großen Menge des letztern untauglich für diese Bestimmung sind, läßt sich daher das Brechungsverhältniß finden, wenn sie auch undurchsichtig sind, indem man den Winkel der vollständigsten Polarisirung bestimmt. Selbst Schwefel, Siegellack, Porcellan, geglättetes Papier und andre Körper, obgleich sie viele farbige, zerstreute Strahlen re-

---

*) Malus und Biot geben für Glas 35° 25′ als den Polarisationswinkel an; da aber die Gläser so sehr ungleich sind, so habe ich lieber den beibehalten, welcher dem Brechungsverhältniß $\frac{2}{3}$ beinahe entspricht.

flectiren, zeigen doch jenes Verschwinden ihres Spiegelglanzes, und man bemerkt, daß namentlich beim Schwefel der Polarisationswinkel kleiner als bei dem Glase ist. Auch der Spiegelglanz der Metalle geht in manchen Fällen sehr deutlich verlohren, wenn man sie statt des ersten Spiegels anwendet, und ihr Bild unter dem richtigen Winkel im zweiten Spiegel wahrnimmt.

Polarisirung beim Durchgange durch Glasplatten.

Dieselbe Veränderung in den Eigenschaften des Lichtstrahls findet beim Durchgange durch mehrere Glasplatten statt. Wenn mehrere Platten guten Glases mit parallelen Oberflächen so parallel aufgestellt werden, daß ein Lichtstrahl sie unter 34 Grad Neigung trifft, so wird bekanntlich nur ein Theil des Lichtes von der ersten Platte durchgelassen, und der übrige reflectirt; eben das geschieht an der zweiten, dritten, vierten Platte, aber immer wird desjenigen Lichtes, welches der Zurückwerfung unterworfen ist, weniger, und nach dem Durchgange durch eine große Reihe von Platten hat der Strahl die Eigenschaft erlangt, von einer mit den vorigen parallel gehaltenen Platte gar nicht mehr zurückgeworfen zu werden, sondern ungeschwächt durchzugehen, und sich als polarisirt zu zeigen. Sind die Platten nicht unter 34^0, sondern unter einem andern Winkel geneigt, so tritt der Erfolg erst bei einer größern Anzahl vollständig ein; aber die bald zu erwähnenden Kennzeichen einer theilweisen Polarisirung zeigen sich auch dann schon bei wenigen Platten.

Diese verschiedenen Mittel setzen uns also in Stand, dem Lichtstrahle eine solche Beschaffenheit zu ertheilen, daß seine verschiedenen Seiten ungleiche Eigenschaften besitzen. Bei gewöhnlichem Lichte ist es ganz gleichgültig, ob ein horizontaler Lichtstrahl auf einen Spiegel so fällt, daß die Reflexions-Ebne vertical ist, (daß der zurückgeworfene Strahl sich in der durch den einfallenden gelegten verticalen Ebne befindet,) oder ob diese Ebne horizontal ist, in welchem Falle ich das Auge in eben der Höhe, wo der einfallende Strahl liegt, halten muß, um den reflectirten Lichtstrahl zu erhalten; hier aber ist dieses nicht gleichgültig, und wenn ich im letzten Falle den Lichtstrahl wenig oder gar nicht zurückgeworfen fände, so würde ich schließen, daß jener horizontale Strahl die

Modification, die Polarisirung heißt, erlitten hätte, daß er also schon von einem andern Spiegel in verticaler Ebne reflectirt sein möge, oder sonst einer polarisirenden Einwirkung ausgesetzt gewesen sei. Ebenso fanden wir die durch doppelt brechende Crystalle durchgegangenen Strahlen so verändert, daß sie nach einer Richtung andre Eigenschaften als nach der darauf senkrechten Richtung zeigten; und es bietet sich daher die Frage dar, wiefern diese Polarisirung in doppelt brechenden Crystallen mit der hier betrachteten einerlei sei, oder nicht. Diese Frage läßt sich auf mehrfache Weise leicht entscheiden, und die Entscheidung fällt dahin aus, daß beide Mittel zur Polarisirung des Lichtes genau gleiche Eigenschaften des Lichtstrahls hervorbringen.

Uebereinstimmung der Polarisirung bei der Reflexion und bei der doppelten Brechung.

Sie erinnern sich, daß ein durch den Doppelspath gegangener gewöhnlich gebrochener Strahl auch in einem zweiten Doppelspathe gewöhnlich gebrochen wurde, wenn die Hauptschnitte beider Crystalle parallel waren; wir können also sagen, bei dieser Lage des zweiten Crystalles behalte der Strahl eben die Polarisirung, die er schon hatte, indem er, auch wenn ein dritter Crystall hinzu käme, sich beim Durchgange durch diesen so verhalten würde, als wenn er nur durch einen Crystall gegangen wäre. Ist der zweite Crystall zwar immer so gestellt, daß seine vom Strahle getroffenen Oberflächen denen des ersten parallel sind, aber zugleich so, daß der Hauptschnitt des zweiten senkrecht auf den des ersten ist, so leidet der Strahl ganz die ungewöhnliche Brechung, ohne sich zu spalten, und behält dabei die Eigenschaft, in einem dritten Crystalle sich ebenso zu verhalten, als wenn der zweite nicht da gewesen wäre. Dagegen wenn der Hauptschnitt des zweiten einen vom rechten Winkel verschiedenen Winkel mit dem Hauptschnitte des ersten macht, so wird sowohl der Strahl, welcher im ersten gewöhnlich gebrochen war, als der ungewöhnlich gebrochene in zwei Strahlen gespalten, und diese Strahlen haben nun ihre Beziehung auf die Axe des ersten Crystalles ganz verlohren. Auf ähnliche Weise wie hier der im ersten Crystalle gewöhnlich gebrochene Strahl verhält sich der unter dem Polarisationswinkel vom ersten Spiegel unsers

Instrumentes reflectirte Strahl. Bringt man bei D einen Doppelspath so an, daß der polarisirte Strahl senkrecht auf die natürliche Oberfläche desselben trifft, so bleibt dieser Strahl auch nach dem Durchgange ebenso polarisirt, sowohl wenn der Hauptschnitt des Crystalles mit der ersten Reflexions-Ebne parallel, als wenn er senkrecht auf sie ist, bei allen andern Stellungen zeigt er sich nicht mehr so polarisirt, daß der zweite Spiegel ihn nicht zurückwerfen kann. Diese Verschiedenheit zeigt sich, wenn man in den zweiten Spiegel, der so gestellt ist, daß er den Strahl bei den vorigen Versuchen nicht reflectirte, hineinsieht, dadurch, daß das Bild der Lichtflamme im zweiten Spiegel wieder erscheint, wenn man dem Hauptschnitte des Crystalles eine gegen die Reflexions-Ebne geneigte Stellung giebt, statt daß es verschwindet, wenn der Hauptschnitt mit dieser Ebne parallel oder darauf senkrecht ist.

Um die Entscheidung, ob der durch Zurückwerfung polarisirte Strahl dem im Crystalle gewöhnlich gebrochenen oder dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle entspreche, zu erhalten, müßte man den polarisirten Strahl bei seinem Durchgange durch den Crystall noch genauer beobachten; und dann findet man, daß der auf beide Oberflächen senkrechte Strahl ganz ungebrochen durchgeht, wenn die Ebne des Hauptschnittes der ersten Reflexions-Ebne parallel ist, daß ein geringer Theil des Strahles der ungewöhnlichen Brechung folgt, ein größerer Antheil dagegen gewöhnlich gebrochen wird, wenn der Hauptschnitt wenig von dieser Richtung abweicht, daß dieser ungewöhnlich gebrochene Strahl immer mehr zunimmt, der gewöhnlich gebrochene immer mehr abnimmt, je mehr der Hauptschnitt sich der senkrechten Stellung gegen die Reflexions-Ebne nähert, daß bei 45° Neigung beide gleich sind, bei 90° der gewöhnlich gebrochene ganz verschwunden ist. Diese Erscheinungen stimmen mit dem, was statt gefunden hätte, wenn jener den Crystall treffende Strahl ein durch einen ersten Crystall polarisirter, gewöhnlich gebrochener Strahl gewesen wäre, so überein, daß wir die sichere Bestimmung erhalten, daß der von einem Spiegel unter dem Polarisationswinkel zurückgeworfene Strahl ganz dem durch einen Crystall, dessen Hauptschnitt mit der Reflexions-Ebne parallel läge, hervorgebrachten gewöhnlichen Strahle gleicht.

Auf ähnliche Weise kann man sich überzeugen, daß der durch viele Glastafeln unter einem schiefen Winkel, am besten unter dem Polarisationswinkel, durchgelassene Strahl sich so polarisirt findet, wie es bei dem ungewöhnlichen Strahle der Fall wäre, wenn er im Durchgehen durch einen Doppelspath entstanden wäre, dessen Hauptschnitt parallel mit der durch das Einfallsloth und den Strahl gelegten Ebne ist.

Erklärung dieser Erscheinungen nach der Emissionstheorie.

Biot fügt, seiner schon früher angeführten Ansicht gemäß, hinzu, bei der Zurückwerfung von einer polirten Oberfläche werde, wenn der Einfallswinkel die genaue Größe des Polarisationswinkels hat, die Axe aller zurückgeworfenen Lichttheilchen in die Ebne der Zurückwerfung gebracht und senkrecht auf die Richtung des Strahles gestellt, und daher sei es erklärlich, daß am zweiten Spiegel kein Theilchen reflectirt werde. Sind nämlich nur diejenigen Theilchen der Zurückwerfung fähig, die gegen den zweiten Spiegel und seine Reflexions-Ebne in eine ebensolche Stellung gebracht werden können, so kann keines jener Theilchen zurückgeworfen werden, wenn die Reflexions-Ebne senkrecht auf die vorige ist, oder allgemein, wenn durch irgend eine Polarisirung die Axen aller Lichttheilchen senkrecht auf der Reflexions-Ebne des zweiten Spiegels sind, indem dann die Kräfte, welche sie in die Richtung dieser Ebne bringen sollten, offenbar auf beide Enden der Axe gleich wirken und daher nicht die — wie wir annehmen, — zur Zurückwerfung erforderliche Lage hervorbringen können. Dagegen wenn die zweite Spiegelfläche nicht die Stellung hat, welche die Wirkung auf beide Enden der Axen der Lichttheilchen gleich macht, so werden einige Theilchen reflectirt, desto mehrere, je größer die Abweichung der Reflexions-Ebne von jener vorhin angegebenen Lage ist.

Biot nennt diese Polarisation die feste oder bleibende Polarisation, weil die Lichttheilchen bei ihrem Fortgange eben die Stellung der Axen behalten. Er nennt einen Lichtstrahl in Beziehung auf eine bestimmte Ebne gewöhnlich polarisirt, wenn die Lichttheilchen ihre Axen in dieser Ebne haben, ungewöhn-

lich in Beziehung auf diese Ebne polarisirt ist er, wenn die Polarisations-Axen der Lichttheilchen senkrecht auf diese Ebne sind.

Eigenschaften des Agats und Turmalins.

Einige Mineralien haben die Eigenschaft, indem sie das Licht durchlassen, es zu polarisiren, und dasjenige Licht, welches schon dieser Polarisirung entsprechend ankömmt, durchzulassen, dasjenige dagegen, welches senkrecht auf jene Polarisations-Ebne, die dem Körper angemessen ist, polarisirt ankömmt, gar nicht durchzulassen. Der Agat ist ein solches Mineral, indem er, senkrecht auf seine Schichtungen geschnitten, das Licht großentheils in Beziehung auf diese Oberfläche gewöhnlich polarisirt, und einen schon so polarisirt ankommenden Strahl recht gut, einen auf diese Ebne senkrecht polarisirten Strahl fast gar nicht durchläßt. Beim Turmalin zeigt sich dies noch auffallender. Wenn man Turmalinplatten mit der Axe der prismatischen Säule, die der Turmalin als Crystall darstellt, parallel schneidet, so wird, wenn man einen recht durchsichtigen Turmalin gewählt hat, das Licht gut durchgelassen. Hält man eine zweite eben so geschnittene Platte der ersten parallel und zugleich so, daß in beiden die der Crystall-Axe parallelen Linien gleiche Lage haben, daß die im Crystall mit der Axe parallelen Linien auch jetzt wieder parallel werden, so geht das Licht gut genug durch beide Platten; dagegen wenn man die eine Platte so dreht, daß ihre Ebne zwar immer noch der andern parallel bleibt, aber jene Axenrichtung in der einen nun senkrecht gegen die Axenrichtung in der andern wird, so wird das durchgehende Licht in hohem Grade geschwächt, ja bei hinreichender Dicke der Platten gänzlich verdunkelt. Biot, der diese Eigenschaft genauer untersucht hat, bemerkt, daß ein aus dem Turmalin so geschnittenes Prisma, daß die Kanten mit der Axe parallel sind, durch den dünneren Theil des Prisma's die Gegenstände doppelt zeigt, daß dagegen, wenn man denselben hellen Gegenstand durch den dickern Theil betrachtet, das eine Bild verschwunden ist. Die durch den dickern Theil gegangenen Strahlen sind senkrecht gegen die Axe des Crystalles oder gegen die Kanten des Prisma's polarisirt oder sie sind die ungewöhnlich gebrochenen, statt daß die gewöhnlich gebrochenen eine dickere Schichte nicht zu durchdringen vermögen. Hieraus erklärt

sich nun leicht, warum die durch eine erste Platte von nicht zu geringer Dicke durchgegangenen Strahlen eine zweite nicht durchdringen, wenn die Axenrichtung der zweiten senkrecht auf die der ersten ist, indem die aus der ersten hervorkommenden Lichttheilchen sämmtlich diejenige Stellung haben, die um die zweite zu durchdringen die ungünstigste ist. Und so wie hier die Wirkung der zweiten Platte, ob sie das Licht durchläßt oder nicht durchläßt, durch die Richtung der in der ersten Platte erlangten Polarisirung bestimmt wird, so geschieht es auch bei andern polarisirten Strahlen; ist die Ebne, in welcher sie polarisirt sind, senkrecht auf die Axe, so werden sie durchgelassen, ist sie mit der Axe parallel, so werden sie nicht durchgelassen, wofern die Dicke nicht zu geringe ist. Jene Axe der Crystalle ist, wie hieraus schon von selbst erhellt, die Axe doppelter Brechung; und wenn man in einer Turmalinplatte ihre Lage kennt, so dient die Platte, um sogleich bei einem polarisirten Strahle die Richtung der Polarisation kennen zu lernen. Ist ein Strahl nicht gänzlich in einerlei Richtung polarisirt, es ist aber doch die Anzahl der nach einer gewissen Richtung polarisirten Theilchen vorwaltend, so bemerkt man, indem man ihn durch die Turmalinplatten gehen läßt, während man diese dreht, eine Schwächung des Lichtes, die bei einer Stellung am bedeutendsten ist, und eine Verstärkung des Lichtes, die in der auf jene Stellung senkrechten Stellung am besten hervortritt. Auf diese Weise kann man daher, wie Arago es von glühenden Körpern gezeigt hat, nachweisen, wo etwas polarisirtes Licht sich mit dem übrigen Lichte mischt.

Erklärung der Polarisirung nach der Undulationstheorie.

Bei der Erklärung aller Erscheinungen, die nicht von Polarisation abhängen, blieb die Undulationstheorie dem Grundsatze getreu, das Licht als dem Schalle analog anzusehen, bei den Vibrationen nicht bloß eine kugelförmige Ausbreitung der Wellen anzunehmen, sondern auch die Vibrationsbewegung der einzelnen Theilchen als senkrecht auf diese Wellenschichten vorauszusetzen. In Beziehung hierauf konnte man von einem verdünnten Aether in der einen Hälfte der Welle, von einem verdichteten in der andern Hälfte

reden, und das Entstehen der Interferenzen nach den Gesetzen, wie sie bei elastisch flüssigen Körpern statt finden müssen, erklären. Aber die Erscheinungen der Polarisation ließen sich nach diesen Ansichten nicht erklären und Fresnel fand daher nöthig, in Beziehung auf sie ganz andre Voraussetzungen anzunehmen. Er bemerkte, daß die bis dahin gehegte Meinung, es müsse die Materie, in welcher das Licht sich fortpflanzt, ein elastisches Fluidum sein, in welchem die an einander liegenden Theilchen unmittelbar sich berühren, in welchem diese Theilchen sich nach Verhältniß des Druckes zusammendrücken lassen, eine viel zu beschränkte sei, und daß man über die Art der Vibrationen der Lichtwellen eine andre Vorstellung fassen müsse. Wenn die Vibrationen der Aethertheilchen nach der Richtung des Strahles gehen, wie wir es mit gutem Grunde beim Schalle annehmen, so ist nicht einzusehen, wie der Lichtstrahl in Beziehung auf die eine Seite andre Modificationen leiden könne, als in Beziehung auf die um einen rechten Winkel von jener abstehende Seite; die Möglichkeit einer solchen Verschiedenheit wird dagegen klar, wenn wir Quervibrationen voraussetzen. Ohne jetzt nach der Entstehungs-Art dieser Vibrationen zu fragen, ist es allerdings einleuchtend, daß hier die verschiedenen Seiten des Strahles ungleich sind, wenn wir zwar ein Fortgehen der Vibrationen von einer Kugelschichte auf die nächste annehmen, die Vibrationen selbst aber als eine in der Kugelschichte erfolgende Verschiebung der Theilchen ansehen. Fresnel hat die Möglichkeit einer bei dieser Querrichtung der Verschiebung dennoch statt findenden Fortpflanzung von einer Kugelschichte zur andern nachgewiesen, indem er folgendes bemerkt: Wenn wir uns einzeln stehende Körperchen, welche zu einem Gleichgewichte gelangt sind, denken, und sie, um der leichtern Vorstellung willen, als in parallele Schichten geordnet ansehen; so könnten die in einer Schichte liegenden und in dieser Schichte bleibenden nicht von ihrer Stelle weichen, ohne vermöge der nun geänderten Attractionen und Repulsionen auch in den Körpern der nächsten Schichte eine Aenderung der Lage hervorzubringen; — so also werde eine einmal erregte Quervibration sich von Schichte zu Schichte fortpflanzen. Diese Bemerkung ist richtig, aber sie hebt nur den Zweifel nicht, warum denn nicht noch weit mehr die in derselben Schichte liegenden Theilchen ihren seitwärts liegenden Nach-

barn alle diese Bewegung auch mittheilen, warum der durch eine kleine Oeffnung eindringende Strahl nach der Richtung des Strahles, welche senkrecht auf jene Quervibrationen ist, die starken Wirkungen der Erleuchtung hervorbringt oder die Entstehung neuer gleich starker Quervibrationen zur Folge hat, statt daß seitwärts nur die kaum merklichen Phänomene der Beugung des Lichtes statt finden, in den Gegenden, wohin die Ausweichungen der Aethertheilchen grade gerichtet sind, und, wie es scheint, grade die stärkste Wirkung hervorbringen müßten.

Nach Fresnel's Vorstellung sollen wir uns nun diese Ausweichungen der einzelnen Theilchen im unpolarisirten Strahle als nach verschiedenen Richtungen in so schneller Folge eintretend denken, daß keine einzelne Richtung der Vibrationen den Vorzug vor der andern hat; im polarisirten Strahle hingegen sind diese Quervibrationen nur nach einer Richtung da, und die Veränderung, welche der Strahl bei der Polarisation leidet, besteht also darin, daß die in unendlich schneller Folge wechselnden Richtungen der Vibrationen in den unpolarisirten Strahlen hier dagegen in immer gleiche Richtungen gebracht werden, daß da, wo zwei Strahlen bei der doppelten Brechung hervorgebracht werden, durch eine Zerlegung nach zwei auf einander senkrechten Richtungen, die Vibrationen des einen Strahles in einer durch seine Richtung und die Richtung der Axe gehenden Ebne vorgehen, die des andern Strahles in einer Ebne senkrecht auf die durch die Richtung des Strahles und der Axe gelegte Ebne. Diese festbestimmte Richtung der Transversalvibrationen, oder die Zerlegung der mannigfaltigen Vibrationen in solche, die nur eine oder die andre constante Richtung befolgen, kann durch die Brechung (so behauptet Fresnel) allemal hervorgebracht werden, sowohl wenn die ungleiche Geschwindigkeit der Strahlen, als wenn die Neigung der Wellen gegen eine Ebne es fordert.

Hat man nun diese Voraussetzungen angenommen, so sind freilich mehrere Erscheinungen als leichte Folgerungen anzusehen. Der polarisirte Strahl hat nun wirklich zwei Seiten in der Richtung der Quervibrationen, die ganz verschieden von den um 90 Gr. davon entfernten Seiten sind. Die entgegengesetzt polarisirten, das heißt, in auf einander senkrechten Ebnen polarisirten Strahlen

geben keine Interferenzen mehr mit einander, (wie Fresnel durch Versuche gefunden hat,) weil diese so wesentlich verschiedenen Vibrationen nicht verstärkend und schwächend auf die von der Differenz der Wege abhängige Weise auf einander einwirken können; gleich polarisirte Strahlen zeigen dagegen die Interferenzen, weil hier Hingang und Rückgang der Theilchen zusammen treffen oder einander grade entgegengesetzt sein können, und dies offenbar der Differenz der Wege entsprechend. Um die Interferenz bei unpolarisirten Strahlen zu erklären, ist es offenbar zureichend, die Wechsel in der Richtung der Vibrationen als eine regelmäßige Folge beobachtend anzusehen, wo dann allerdings, wenn in zwei Strahlen an bestimmtem Orte die Richtung der Vibration einmal zusammenstimmt, dieses unaufhörlich der Fall sein wird, und dagegen wenn die Länge der Wege um eine halbe Wellenlänge (das heißt, um den Zwischenraum, der die Transversalverschiebungen, welche einander grade entgegengesetzt sind, trennt,) verschieden sind, so entsteht die zerstörende Interferenz.

Diese allerdings scharfsinnige, aber gewiß auch höchst verwickelte Auskunft über die den Polarisations-Erscheinungen entsprechende Beschaffenheit der Lichtwellen hat Cauchy neuerlich durch eine theoretische Untersuchung zu bestätigen gesucht. Die kurze Anzeige, die er selbst von seiner Untersuchung macht, reicht nicht hin, um diese Untersuchung ganz zu übersehen, und reicht noch weniger hin, um zu beurtheilen, ob denn die Voraussetzungen, aus welchen er fast genau alles das, was die Erfahrung ergiebt, herleitet, Beifall verdienen. Er setzt keine nach der Natur flüssiger Körper bedingte Verbindung der einzelnen Theilchen derjenigen Materie, in welcher das Licht sich fortpflanzt, voraus, sondern sucht die Bewegungen zu bestimmen, die bei getrennten, durch Attraction und Repulsion auf einander wirkenden Theilchen entstehen können. Daß hier nun zuerst die Folgerung hervorgeht, eine anfängliche, auf einen sehr kleinen Raum beschränkte Bewegung einiger Theilchen werde im Fortgange der Zeit eine auf die entlegnern Theilchen sich fortpflanzende entsprechende Bewegung hervorbringen, die in jedem Momente in Erschütterung gesetzten Theilchen werden in einer bestimmten Fläche liegen, und diese Welle werde fortschreitend zu den benachbarten Theilchen übergehen,

läßt sich wohl übersehen. Aber schwieriger ist es, den Grund einzusehen, warum, wenn diese Verschiebungen der Theilchen in einer Ebne liegen, eine Theilung dieser Welle in drei Wellen (eigentlich sechs, deren zwei und zwei gleiche entgegengesetzte Richtungen haben,) eintreten soll, deren jede eine verschiedene Geschwindigkeit besitzt. Nimmt man dies als richtig an, so läßt sich wieder einsehen, daß unter gewissen Umständen die Zahl dieser Strahlen oder Wellensysteme sich auf zwei oder einen Strahl reduciren kann. Sind die anfänglichen Verschiebungen der Theilchen zwar in einer Ebne, aber nach allen möglichen Richtungen in derselben wechselnd, so soll sich aus dieser Theorie ergeben, daß die entstehenden drei Strahlen eine Polarisirung ganz in dem von Fresnel angenommenen Sinne haben, und daß jeder dieser Strahlen bei der Fortpflanzung in einem sich gleichen elastischen Mittel nun keine neue Spaltung mehr leidet, u. s. w. Die ferneren Folgerungen findet Cauchy den Erfahrungen über die doppelte Brechung sehr entsprechend und Fresnel's Vorstellung von Quervibrationen gerechtfertigt; es kömmt aber hier alles darauf an, daß zuerst die Gründe der allgemeinen Untersuchung deutlicher entwickelt, dann die beschränkenden Voraussetzungen über die Gesetze der Wirksamkeit der hier thätigen Kräfte geprüft werden, und endlich die Frage vollständig entschieden werde, ob in einer Rechnung, wo man allerdings manche Glieder der Formeln, ihrer Kleinheit wegen, wird weglassen dürfen, nicht eine zu große Willkür in dieser Hinsicht, dadurch aber Unsicherheit der ganzen Schlußfolge eintrete.

Ich breche diese verwickelten Betrachtungen ab, die freilich bei so mannigfaltigen und wunderbaren Eigenschaften des Lichtes vielleicht nicht einfacher aufgefaßt werden können, die aber doch den Vorwurf, auf willkürliche Voraussetzungen gegründet zu sein, wohl nicht ablehnen können, und daher den Vorzug größerer Einfachheit vor der Emanationstheorie nicht mehr zu behaupten scheinen.

Achtzehnte Vorlesung.

Die Versuche über die Polarisirung des Lichtes, welche ich Ihnen, m. H., neulich erklärte, bieten zwar viel Unerwartetes und Ueberraschendes dar, aber sie werden von den jetzt anzugebenden bei weitem übertroffen durch die glanzvollen Farben = Erscheinungen, welche sich, gleichfalls durch die Polarisation hervorgebracht, darstellen lassen. Um an das Vorige anzuknüpfen, will ich Sie daran erinnern, daß der vom ersten Spiegel unsers Instrumentes (Fig. 141.) zurückgeworfene, vollkommen polarisirte und eben deswegen für die Reflexion aus dem zweiten Spiegel unfähig gewordene Strahl, die Fähigkeit zurückgeworfen zu werden, durch einen Doppelspath, welchen er durchdringen mußte, wieder erhalten konnte. Hielten wir einen doppelt brechenden Crystall in den Weg des vom ersten zum zweiten Spiegel übergehenden Strahles, so daß der Strahl die natürlichen Oberflächen des Crystalles senkrecht traf, und richteten wir unser Auge auf den zweiten Spiegel in der gehörigen Richtung; so sahen wir im zweiten Spiegel das vom ersten Spiegel reflectirte Licht weißer Wolken hell hervortreten, wenn der Hauptschnitt des Crystalles schief gegen die erste Reflexions = Ebne geneigt war, und wieder in Dunkelheit verschwinden, wenn jener Hauptschnitt mit der ersten Reflexions = Ebne parallel oder auf sie senkrecht war. Daß etwas Aehnliches auch bei andern doppelt brechenden Crystallen erfolgen wird, läßt sich erwarten; aber unter gewissen Umständen tritt dieses Wiedererscheinen des zweimal zurückgeworfenen Strahles, diese Depolarisirung desselben, mit schönen Farben hervor.

Depolarisirung einiger Farbenstrahlen.

Wenn man blätterigen Gyps, Frauen = Eis, Selenit, ein Mineral, das sich in sehr feine, völlig durchsichtige und farbenlose Blätter zertheilen läßt, in sehr dünnen Blättern dem aus dem ersten Spiegel zurückgeworfenen polarisirten Strahle senkrecht darbietet,

und das Auge in der gehörigen Stellung auf den zweiten Spiegel richtet, so bemerkt man in vier Stellungen jenes Blattes ein Verschwinden des Bildes, in allen dazwischen liegenden Stellungen dagegen ist es schön gefärbt sichtbar, und die Farben sind fast bei jedem andern Blättchen andre. Dieser blätterige Gyps ist ein doppelt brechendes Mineral; es besteht aus prismatischen Crystallen, deren Grundfläche ein schiefwinkliches Parallelogramm ist, und die zwei Axen doppelter Brechung liegen in der Grundfläche selbst, das ist, in der Ebne der Blättchen, die wir mit ziemlich leichter Mühe ablösen, und die gern die Form jenes schiefen Parallelogrammes annehmen, welche als eigentliche Crystallform dieser Blättchen anzusehen ist. Die Mittellinie zwischen beiden Axen macht nach Biot's Bestimmung einen Winkel von $16\frac{1}{4}$ Grad mit der einen Seite des Parallelogrammes, und diese Mittellinie ist es, die wir hier vorzüglich zu beachten haben. Immer bleiben unsre dünnen Crystalltafeln senkrecht auf die Richtung des polarisirten Strahles, aber wir geben ihnen, indem wir sie, ohne sie von der senkrechten Stellung zu entfernen, drehen, mannigfaltig verschiedene Lagen. Sieht man dann, ohne den zweiten Spiegel anzuwenden, durch das Gypsblättchen von O her in den ersten Spiegel, so nimmt man das Bild der weißen Wolken (denn von diesen läßt man hier am liebsten Licht auffallen, weil die Farbe der Flamme störend ist,) hell und ohne Färbung wahr; bringt man aber den zweiten Spiegel wieder in diejenige Stellung, wo er die polarisirten Strahlen nicht zurückwarf, und sucht das Bild der glänzenden Wolken, welches vom ersten Spiegel her im zweiten sichtbar sein sollte, auf; so erscheint dieses erstlich höchst dunkel, fast gar nicht, wenn jene Mittellinie des Blättchens in der Ebne der ersten Reflexions-Ebne liegt, dagegen zweitens tritt dieses Bild immer heller und heller, und mit einer sich immer glänzender zeigenden Farbe hervor, wenn man jene Mittellinie von der ersten Reflexions-Ebne entfernt, bis sie bei 45° Entfernung den größten Glanz erreicht; von da an nimmt der Glanz ab, und — drittens — bei der Entfernung = 90° ist wieder Dunkelheit da. Dieselben Erscheinungen zeigen sich in allen Quadranten gleich, so daß bei 0°, 90°, 180°, 270°, Dunkelheit statt findet oder dem Strahle die Eigenschaft vom zweiten Spiegel reflectirt zu werden nicht wieder ertheilt wird, bei 45°,

135°, oder in der Mitte jedes Quadranten, diese Polarisirung am vollkommensten aufgehoben, aber so aufgehoben wird, daß das weiße Licht der Wolken farbig erscheint. Hat man ein vollkommen gleiches Blättchen des blätterigen Gypses erhalten, so ist diese Farbe in allen Theilen desselben gleich; sobald aber eine Ungleichheit der Dicke statt findet, so zeigen die ungleich dicken Theile ungleiche Farben, die ihre Ungleichheit bei jener Drehung beibehalten, in den Stellungen aber, wo die Polarisirung nicht gestört wird, alle in völliges Dunkel zurückgehen. Dreht man den zweiten Spiegel, während er auf den Polarisationswinkel gestellt bleibt, um 90 Grade fort, so daß er fähig wird, das in der Richtung der ersten Zurückwerfungs=Ebne polarisirte Licht zurückzuwerfen; so sieht man farbenloses Licht, wenn des Gypsblättchens Hauptlinie parallel oder senkrecht gegen die erste Zurückwerfungs=Ebne ist, dagegen erscheint die Ergänzungsfarbe zu der bei der vorigen Stellung beobachteten Farbe, wenn man die Mittellinie des Blättchens geneigt gegen jene Ebne stellt, und diese Farbe ist am glänzendsten, wenn die Neigung 45° ist. War also bei der vorigen Stellung des Spiegels ein schönes gelbliches Grün die Farbe des Blättchens, so erscheint es bei der neuen Stellung des Spiegels im schönsten, tiefen Violett oder Purpur, und auf gleiche Weise stehen in andern Fällen sich die Farben ergänzend gegenüber. In den Mittelstellungen des Spiegels findet ein Uebergang durch farbenloses Weiß von einer Farbe zur andern statt.

Wenn man sich statt des zweiten an der Rückseite geschwärzten Spiegels eines durchsichtigen Glases, aber in den richtigen Polarisationswinkel und so gestellt, daß die polarisirten Strahlen nicht zurückgeworfen werden, bedient, so sieht man durch Spiegelung in diesem zweiten Glase noch die vorigen Erscheinungen; hält man aber das Auge in O, um die durchgehenden Strahlen zu empfangen, so sieht man das Bild der weißen Wolken weiß, wenn die Zurückwerfung aufhört (bei der Stellung der Platte in 0°, 90°, 180°, 270°,); dagegen erscheint das Bild der Wolken farbig, und zwar mit derjenigen Farbe, welche der durch Spiegelung gesehenen als Ergänzungsfarbe zugehört, wenn die Stellung des Gypsblättchens eine mittlere ist. Die Stellung des zweiten Spiegels in seine zwei Hauptstellungen bringt beim durchgelassenen Lichte eben

das Hervorgehen der Complementärfarben hervor, wie beim zurückgeworfenen Lichte, aber immer auf die entgegengesetzte Weise. Das hier erscheinende durchgelassene Licht ist zwar immer nur wenig gefärbt, weil das gesammte reflectirte Licht doch nur einen geringen Theil des vorhandenen Lichtes ausmacht, das durchgegangene Licht also viel weiße Strahlen enthält; aber die Färbung ist deutlich genug, um den neulich schon ausgesprochenen Satz zu bestätigen, daß da, wo gar kein Licht reflectirt wird, alles Licht durchgeht, statt daß hier in dem Falle da ein Antheil grünen Lichtes reflectirt wird, sich in dem durchgehenden ein deutlicher Ueberschuß an violettem Lichte zeigen muß, und wo violettes Licht zurückgeworfen wird, das durchgelassene Licht grünlich ist.

Um diese auffallende Erscheinung, daß das farbenlose Gypsblättchen farbig wird, genauer kennen zu lernen, wollen wir noch folgenden Versuch anstellen. Wenn man den zweiten Spiegel wegnimmt und an dessen Stelle einen Doppelspath, dessen gegen **F I** gekehrte Fläche bedeckt ist und nur durch ein einziges Löchelchen dem Lichtstrahle Zutritt läßt, so befestigt, daß der vom ersten Spiegel kommende Strahl seine Oberfläche senkrecht trifft; so sieht man, das Gypsblättchen mag ganz fehlen oder seine Hauptlinie mag mit der ersten Reflexions-Ebne parallel oder auf sie senkrecht sein, auch durch den Doppelspath keine farbigen Bilder. Jenes eine Löchelchen nämlich erscheint in den eben angeführten drei Fällen einfach, wenn der Hauptschnitt des Crystalles parallel mit der ersten Zurückwerfungs-Ebne oder auf sie senkrecht ist; es erscheint doppelt, wie wir es beim Doppelspath gewohnt sind, aber ohne Färbung, wenn der Hauptschnitt eine schiefe Stellung gegen jene Ebne hat. Aber diese Farbenlosigkeit hört sogleich auf, wenn das Gypsblättchen eine andre Stellung, verschieden von jenen beiden Stellungen hat, und am besten treten die Farben der Bilder auch in diesem Falle hervor, wenn die Hauptlinie des Blättchens, das ist, die Mittellinie zwischen seinen Axen, 45^0 gegen jene Zurückwerfungs-Ebne geneigt ist. Bleibt hier noch immer der Doppelspath an der Stelle des zweiten Spiegels, und empfängt er das Licht durch ein einziges in der Bedeckung seiner Vorderseite gemachtes Löchelchen; so sieht man nun bei jeder Stellung des Doppelspathes ein doppeltes Bild, das aber seine Farben bei ungleicher Stellung

des Doppelspaths ändert. Ich nehme an, daß, wie in dem vorhin erwähnten Falle, das Gypsblättchen ein gelbliches Grün bei der einen Stellung des Spiegels, ein Purpur bei der andern Stellung zeigte; so sieht man im Doppelspath die beiden Bilder mit eben diesen Farben erscheinen, wenn der Hauptschnitt des Doppelspaths parallel mit der ersten Zurückwerfungs-Ebne oder senkrecht gegen sie ist, dagegen weiß bei der genau mittleren Stellung; in den Lagen, die zwischen 0° und 45° liegen, und ebenso zwischen 45° und 90° wird die Färbung desto schwächer, je näher der Crystall die genaue mittlere Stellung erreicht. Aber obgleich die beiden Bilder die Farben Grün und Violett immer wieder zeigen, sobald die Stellung des Doppelspaths von der Mittellage abweicht, so ist doch nicht immer dasselbe Bild grün und das andre violett, sondern dasjenige, welches grün war zwischen 0° und 45°, wird violett zwischen der Stellung von 45° und 90°.

Ich fürchte, daß diese Erörterung einzelner Fälle Ihnen ermüdend scheinen kann, aber dennoch nöthigt mich die große Merkwürdigkeit der hier statt findenden Erscheinungen, noch etwas länger bei diesen Gegensätzen zu verweilen; damit ich aber die Uebersicht erleichtere, will ich die Betrachtung der einzelnen Fälle mit den frühern Betrachtungen in Verbindung setzen. Sie erinnern sich, daß der aus dem ersten Spiegel kommende, vollkommen polarisirte Strahl ganz einem im Doppelspathe gewöhnlich gebrochenen Strahle glich, wenn des Doppelspaths Hauptschnitt der Zurückwerfungs-Ebne parallel ist. So lange das Crystallblättchen diejenige Lage hat, bei welcher die Art der Polarisirung des Strahles ungeändert bleibt, wo nämlich die Mittellinie beider Axen, die hier die Stelle des Hauptschnittes vertritt, parallel mit der Zurückwerfungs-Ebne oder senkrecht auf sie ist, bringt die Gegenwart dieses Gypsblättchens keine Wirkung hervor, — das Bild des weißen Himmels erscheint am dunkelsten im zweiten Spiegel bei der Stellung auf 90° und vollkommen hell bei 0° oder 180°, der vom Doppelspath durchgelassene Strahl ist einfach, keiner Spaltung unterworfen, wenn sein Hauptschnitt in 0°, 90°, 180°, gerichtet ist, dagegen doppelt bei den dazwischen liegenden Stellungen. Dagegen wenn des Gypsblättchens Hauptlinie auf 45° gerichtet ist, so ist der Lichtstrahl theilweise depolarisirt, und die Erscheinung ist

nur darin von derjenigen verschieden, die ein dickerer doppelt brechender Körper darbietet, daß die einzelnen Farbenstrahlen eine ungleiche Depolarisirung erleiden. Um bei unserm Blättchen, dem die Farben Grün und Purpur angehörten, zu bleiben, müssen wir hier sagen, die grünen Strahlen haben ihre Polarisirung verlohren, die Purpurstrahlen haben sie behalten, daher werden jene nun aus dem zweiten Spiegel, der die in der Richtung der ersten Reflexions-Ebne polarisirten Strahlen nicht zurückgab, (bei der Querstellung seiner Reflexions-Ebne,) zurückgeworfen, und die andern hingegen, die Purpurstrahlen, werden da zurückgeworfen (bei der Parallelstellung seiner Reflexions-Ebne,) wo die polarisirten Strahlen reflectirt wurden. Es folgt aber noch mehr hieraus, nämlich daß die eine Art von Strahlen, in unserm Beispiel die grünen, eine neue Polarisirung senkrecht auf die vorige erhalten haben, und deswegen da nicht reflectirt werden, wo die Purpurstrahlen zurückgeworfen werden. Das Durchsehen durch einen Doppelspath, den man an die Stelle des zweiten Spiegels bringt, um durch ihn grade in den ersten Spiegel zu blicken, ergiebt eben das. Wenn man auf ihn das Licht durch eine kleine Oeffnung auffallen läßt, so wird es in zwei Strahlen zerlegt, aber diese erscheinen nicht in allen Stellungen mit gleichen Farben. Die grünen Strahlen sind jetzt nicht mehr in der Richtung der ersten Reflexions-Ebne, sondern auf sie senkrecht polarisirt, sie leiden also, wenn der Doppelspath seinen Hauptschnitt in jener Ebne hat, (auf 0°) die ungewöhnliche Brechung, statt daß die Purpurstrahlen als in jener Ebne polarisirt, den gewöhnlich gebrochenen Strahl geben; dreht man den Doppelspath um 90°, so haben sich die Farben vertauscht, weil der in der ersten Zurückwerfungs-Ebne polarisirte Purpurstrahl nun der ungewöhnlich gebrochene Strahl ist; dieser Uebergang vom Grün zum Purpur, dem ein entgegengesetzter Uebergang des andern Strahles entspricht, findet dadurch statt, daß beide Bilder weiß erscheinen, wenn der Doppelspath die Mittelstellung hat, und so muß es sein, weil der Doppelspath dann eben so viele Lichttheile aus dem nach der einen Richtung polarisirten Purpurstrahle als aus dem nach der darauf senkrechten Richtung polarisirten grünen Strahle in dem gewöhnlich gebrochenen Strahle, und ebenso auch in dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle, vereinigt. Und hier läßt sich nun

auch entscheiden, welches der ungewöhnlich gebrochene Strahl ist. Wenn die Richtung des aus dem ersten Spiegel kommenden Strahles AB (Fig. 144.) ziemlich nahe horizontal ist, das Gypsblättchen auf 45° steht, der Doppelspath mit seinem Hauptschnitte der ersten Reflexions-Ebne parallel steht und diese vertical ist; so wissen Sie, daß BO der gewöhnliche, BE der ungewöhnliche Strahl ist, daß also der gewöhnliche der untere ist, wenn die Axe GH des Crystalles von oben nach unten gegen den Beobachter P zu geht, und dieser gewöhnlich gebrochene Strahl muß also in unserm Falle Purpur darstellen, wenn es gegründet ist, daß der in der ersten Reflexions-Ebne polarisirt bleibende Strahl mit dem gewöhnlich gebrochenen Strahle des so gestellten Doppelspathcrystalls übereinstimmt. Die Erfahrung stimmt hiemit völlig überein, und es versteht sich daher, daß das untere Bild das grüne ist, wenn der Crystall die Lage (Fig. 145.) erhält, wo alle Buchstaben eben die Bedeutung behalten.

Bestimmung der Farbe nach der Dicke des Gypsblättchens.

Ich verweile jetzt nicht bei den Erscheinungen, die ein in andre Stellungen gegen die erste Reflexions-Ebne gebrachtes Gypsblättchen hervorbringt, indem die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen zu groß ist, um hier umständlich erklärt zu werden; dagegen muß ich bei dem Gesetze, nach welchem sich die Entstehung der Verschiedenheit der Farben richtet, nothwendig verweilen. Und hiebei bietet sich die auffallendste Uebereinstimmung derjenigen Farben, die wir hier beobachten, mit denen, die Sie in den Newton'schen Farbenringen kennen gelernt haben, dar. Biot hat die Dicke vieler Blättchen sorgfältig abgemessen und gefunden, daß die Farben, welche der Polarisation entzogen werden, genau in eben dem Zusammenhange mit dem Verhältniß der Dicken der Blättchen stehen, wie die Farben der durch Zurückwerfung entstehenden Newton'schen Ringe mit den Dicken der Luftschichten. Nach Biot's Versuchen war es zum Beispiel ein Blättchen von 82 Tausendteln eines Millimeters (ungefähr 3 Tausendtel Zoll), welches das Blau des ersten schönen Farbenringes gab, und es fand sich nun in allen Fällen bestätigt, daß ein doppelt so dickes Blättchen eben die Farbe (Orange

des zweiten schönen Farbenringes) gab, die man bei Newton's Farbenringen da erhält, wo die Luftschichte doppelt so dick ist, als bei jenem Blau; oder allgemein, daß man das Verhältniß der Dicke eines zweiten Blättchens zu jenem ersten nur zu kennen brauchte, um die der Polarisirung entzogene Farbe zu bestimmen, welche immer diejenige war, die dem Verhältnisse der Dicken der Luftschichten bei Newton's Versuchen entspricht. Nach Newton ist 14 die Dicke der Luftschichte für jenes Blau, und diese Zahl nimmt also eben die Stelle ein, wie 82 Tausendtel Millimeter bei Biot's Versuchen; 21 ist die Zahl, die bei Newton dem Purpur des nächsten Ringes entspricht, also 123 als Dicke der Blättchen gäbe eben dieses Purpur in den Biot'schen Versuchen; 28 ist bei Newton dem Orange desselben nächsten Ringes entsprechend, also 164 muß eben die Farbe bei Biot geben; 35 dort und 205 hier müssen das Grün der folgenden Ordnung geben, und so weiter. Und dieses findet, nach Biot's Messungen, so statt, daß sowohl ein einzelnes Blättchen von diesen Dicken, als mehrere, die zusammen diese Dicke haben, und mit parallelen Axen auf einander gelegt werden, die hiernach berechneten Farben zeigen; weshalb denn Gypsstückchen von sehr bedeutender Dicke keine Farben mehr zeigen, sondern weißes Licht.

Biot's Theorie der beweglichen Polarisation.

Diese Farben stehen also mit den Anwandelungen in einer sehr nahen Beziehung, und diese Betrachtung hat Biot zu seiner Theorie der beweglichen Polarisation geführt. Es scheint nämlich sich als unmittelbares Ergebniß der Erscheinungen auszusprechen, daß zwar in einem dickeren Crystalle bei gehöriger Lage desselben alle Farbenstrahlen ihre Polarisation verlieren, daß dies aber beim Durchgange durch sehr dünne Schichten in Beziehung auf jeden Farbenstrahl bald geschehen, bald wieder nicht geschehen ist, also ein Wechsel der Polarisation, ähnlich dem Wechsel der Anwandelungen, statt findet. Um bei einem Farbenstrahle stehen zu bleiben, würde man von dem von Biot angeführten blauen Farbenstrahle sagen müssen, daß er bei einer Dicke von 27 Tausendteln des Millimeters zum ersten Male, bei einer Dicke von 3 mal 27, von 5 mal 27 zum zweiten Male, zum dritten Male der Polari=

sation entzogen werde, und für andre Strahlen nach dem Verhältnisse der ungleichen Länge ihrer Anwandelungen eben dieses statt finde; dagegen aber in Blättchen von 54 oder 108 Tausendteln jener Farbenstrahl am wenigsten der Depolarisirung unterworfen sei.

Diese Wechsel erklärt Biot durch folgende Ansicht. Indem die Lichttheilchen eines gleichartigen Farbenstrahles den doppelt brechenden Körper erreichen, erlangen sie, wenn sie polarisirt waren, eine oscillirende Bewegung ihrer Axen, vermöge welcher diese, vorher in einer bestimmten Ebne liegenden, Axen nun in die Ebne des Hauptschnittes des Blättchens geführt, aber ferner eben so weit über diese hinaus geführt werden, dann zu der Ebne jenes Hauptschnitts (der Mittellinie zwischen den beiden Axen des Blättchens,) zurück und über ihn hinaus bis zu der ersten Stellung gehen, und so Oscillationen um die Richtung des Hauptschnittes in immer gleicher Ausdehnung vollenden. Während ein solcher Uebergang von der anfänglichen Lage der Axe eines Lichttheilchens bis zum Aeußersten jenseits des Hauptschnittes erfolgt, ist das Lichttheilchen bis auf eine gewisse Tiefe eingedrungen, bei der Rückkehr zur anfänglichen Polarisations-Ebne hat sich diese Tiefe verdoppelt, beim neuen Eintreffen in die schon einmal erreichte äußerste Lage ist die dreifache Tiefe erreicht, und so weiter; das Lichttheilchen befindet sich also nach dem Eindringen zu der einfachen, dreifachen, fünffachen Tiefe in demselben äußersten Zustande der neuen Polarisation, und nach dem zweifachen, vierfachen, sechsfachen Eindringen wieder in dem Zustande der ursprünglichen Polarisation. Wenn also bei einfarbigem grünem Lichte, das so polarisirt war, daß es aus dem zweiten Spiegel nicht zurückgeworfen wurde, die Dicke des Blättchens grade einer solchen Periode entspricht, so geht das Lichttheilchen in einer neuen Richtung polarisirt hervor, und die Ebne dieser Polarisation ist doppelt so weit von der ursprünglichen Polarisations-Ebne entfernt, als die Hauptlinie des Blättchens von derselben entfernt ist. Bei der von uns vorhin angenommenen Lage der Hauptlinie in 45° Neigung, ist also das Aeußerste der Oscillation = 90°, und das hervorgehende grüne Lichttheilchen wird nun grade bei der Stellung des zweiten Spiegels vollkommen gut reflectirt, bei welcher es vorhin gar nicht reflectirt wurde, und um-

gekehrt, wenn man den zweiten Spiegel in die Stellung bringt, wo vorhin die Zurückwerfung des polarisirten Lichtes statt fand, so sieht man nur Dunkel, weil jenes einfarbige Licht gänzlich in die neue Polarisirung übergegangen ist. Hätte das Blättchen die dreifache oder fünffache Dicke, so ginge es genau eben so; bei der zweifachen oder vierfachen Dicke dagegen fände die frühere Polarisirung statt, und der genau gleichartige Strahl würde keine Veränderung zeigen.

Ist das Licht von einer andern Farbe, so ist, nach dem von den Anwandelungen her bekannten Verhältnisse, die Tiefe, bis zu welcher die Theilchen eindringen müssen, eine andre; rothes Licht zum Beispiel hätte nicht im vollen Maaße die einer vollendeten Oscillation aller Theilchen entsprechende neue Polarisation angenommen, wenn die Platte den grünen Strahlen entsprechend gewählt war, und die Erscheinung des Roth würde daher minder lebhaft statt finden; — und so für jede andre Farbe würde eine andre Dicke der Blättchen erfordert werden, um die Erscheinungen den vollendeten Perioden entsprechend zu zeigen.

Läßt man das Licht weißer Wolken sich im ersten Spiegel polarisiren, so sind es Lichttheilchen aller Farben, die das Gypsblättchen erreichen. Hat nun das Blättchen die Dicke, welche einem ganzen Ausweichen oder einer vollendeten Oscillation des Grün entspricht, so werden die Theilchen grünen Lichtes genau und die dem Grün benachbarten Theile nahe genug in die neue Polarisations-Ebne gebracht sein; die rothen Strahlen dagegen und alle weit vom Grün liegenden Farbentheilchen sind noch zu nahe bei der anfänglichen Polarisations-Ebne, und zeigen sich als nach dem Durchgange so polarisirt, wie sie es vorher waren. Hat also das Blättchen diese Dicke, so zeigt sich der in der neuen Richtung polarisirte Strahl grün, der in der früheren Richtung polarisirte enthält die übrigen, also Purpur darstellenden, Theilchen.

Es ist wahr, daß die Erscheinungen sich diesem gemäß verhalten; denn wenn der zweite Spiegel in der Richtung bleibt, daß er die in der frühern Richtung polarisirten Strahlen nicht zurückwirft, so sieht man immer dieselbe Farbe, schwächer oder lebhafter erscheinen, wenn man die Hauptlinie des Blättchens in eine schiefe Richtung gegen die erste Polarisations-Ebne bringt. Weicht diese

Richtung noch wenig ab, so ist die Farbe noch wenig lichtvoll, weil der Spiegel die in einer wenig vortheilhaften Richtung polarisirten Strahlen schlecht zurückwirft; ist die Abweichung 45°, so ist die Zurückwerfung vollkommen; bei einer noch weiter fortrückenden Stellung des Blättchens geht die Lage der neuen Polarisations-Ebne über 90° hinaus und wird also minder vortheilhaft; aber das mehrere oder wenigere Licht ist immer von gleicher Farbe. Bei derjenigen Stellung des zweiten Spiegels, wo er das in der anfänglichen Richtung polarisirte Licht zurückwirft, findet das Entsprechende statt. Hier wird die Ergänzungsfarbe von jener immer zurückgeworfen; aber bei einer geringen Neigung der Hauptlinie des Blättchens gegen diese Ebne wird auch viel von der in der neuen Richtung polarisirten Farbe zurückgeworfen, wodurch dann ein nur wenig in jene Ergänzungsfarbe hinübergehendes Weiß hervorgeht; erst bei einer Richtung der Hauptlinie, die nahe gegen 45° ist, fehlt jene Farbe ganz, und die Ergänzungsfarbe tritt rein hervor.

Stellt man den zweiten Spiegel nicht in jene zwei Hauptstellungen, sondern läßt man ihn in der Drehung im Ringe E (Fig. 141.) um eben so viele Grade als jene Hauptlinien von der ersten Reflexions-Ebne abweichen, so zeigt er Weiß, weil er zwar beide Farben, als nicht ganz angemessen für seine Zurückwerfung polarisirt, unvollständig zurückwirft; aber doch beide, als gleich stark von seiner Reflexions-Ebne abweichend, gleich gut, die Farben also zu Weiß gemischt, zurückgiebt.

Daß bei dickeren Blättchen eine Mischung der Farben wegen des Zusammentreffens der vierten Periode des violetten Strahles mit der dritten Periode des gelben Strahles und wegen ähnlicher Verbindungen eintritt, das läßt sich nun wohl übersehen.

Farben zweier Blättchen, deren Hauptlinien auf einander senkrecht sind.

Aber abbrechen kann ich diese Darstellung der an den Gypsblättchen wahrzunehmenden Erscheinungen immer noch nicht, indem zwei auf einander gelegte Blättchen recht merkwürdige Erscheinungen darbieten. Liegen die Hauptlinien beider Blättchen genau auf einander, so bietet sich nichts Merkwürdiges dar, indem die zwei Blättchen dann wie ein dickeres wirken. Aber läßt man die Axen

sich senkrecht durchschneiden, so verhält es sich anders. Ich will annehmen, der zweite Spiegel stehe in der Stellung, wo er die vom ersten Spiegel polarisirten Strahlen nicht zurückwirft; dann wirft er sie auch nicht zurück, wenn die Hauptlinie des einen Blättchens parallel mit der ersten Reflexions- oder Polarisations-Ebne, die Hauptlinie des andern Blättchens darauf senkrecht ist. Dagegen bei einer andern Stellung, am besten, wenn beide Hauptlinien um 45 Grad von jener Ebne abweichen, zeigen die gekreuzten Blättchen Farben, die ein dünneres einzelnes Blättchen geben würde, nämlich genau die Farben, die ein einzelnes Blättchen geben würde, wenn seine Dicke gleich dem Unterschiede der Dicke jener wäre. Um nicht hiebei abermals so lange zu verweilen, mag es genug sein, zur Erklärung dieser Erscheinung zu bemerken, daß diese Kreuzung der Axen eine entgegengesetzte Wirkung hervorbringt, so daß das dünnere Blättchen einen Theil der Wirkung des dickeren zerstört, und nur die Wirkung übrig läßt, die dem Unterschiede der Dicken entspricht.

Erklärung dieser Farben-Erscheinungen nach der Undulationstheorie.

Diese Bestimmungen sind sämmtlich den Erfahrungen, die Biot angestellt hat, genau angemessen, und obgleich Fresnel bei anders eingerichteten Versuchen Folgerungen gefunden hatte, die diesen Oscillationen nicht entsprechend schienen, so hat doch Biot seine Ansichten dadurch nicht als widerlegt angesehen. Als ein passender Ausdruck für die wichtigsten Erscheinungen kann diese bewegliche Polarisation also wohl gelten; aber über die Hypothese einer wirklich so angeordneten Bewegung der Axe der Lichttheilchen bieten sich freilich manche Zweifel dar, die ich hier umständlich zu erörtern Bedenken trage. Arago und Fresnel haben jene Farben-Erscheinungen sehr genügend aus der Theorie der Interferenzen erklärt. Nach Fresnel's Ansicht muß man bei dem Durchgange des polarisirten Strahles durch das Gypsblättchen auf die auch hier statt findende doppelte Brechung sehen. Ist die Hauptlinie des Blättchens **B D** unter einem schiefen Winkel gegen die anfängliche Polarisations-Ebne **A B** (**Fig. 146.**) geneigt, so gehen zwei getrennte Strahlen durch das Blättchen, die wir bei so dünnen Blättchen, wo sie sich höchst unbedeutend von einan-

der entfernen, nicht als getrennt wahrnehmen können, die aber doch die Eigenschaft eines gewöhnlich gebrochenen, nach BD polarisirten, und eines ungewöhnlich gebrochenen, in der auf BD senkrechten Ebne BE polarisirten Strahles haben. Diese beiden Strahlen haben im Innern des Blättchens ungleiche Geschwindigkeiten und die Wellen des einen treffen daher nicht mehr mit den Wellen des andern zusammen; aber so lange sie so ungleich polarisirt bleiben, geben sie, als nach senkrechten Richtungen polarisirt, keine Interferenzen, und das unmittelbar durch das Blättchen sehende Auge sieht nichts Ungewöhnliches. Treffen aber die aus dem Blättchen hervorgehenden Strahlen auf einen Doppelspath, dessen Hauptschnitt in der Ebne BF (überhaupt geneigt gegen AB, BD) liegt, so gehen aus beiden Strahlen zwei Strahlen in den Richtungen der Ebnen BF und GH (senkrecht auf BF) polarisirt, hervor. Das durch den Doppelspath sehende Auge erhält also einen aus zwei Strahlen zusammen hervorgegangenen nach BF polarisirten Strahl, und eine Verbindung zweier nach BG und nach BH polarisirter Strahlen; und hier sind die zwei ersten zusammen treffenden Strahlen der Interferenz fähig, weil sie nach gleicher Richtung polarisirt sind und aus einem und demselben ursprünglichen polarisirten Strahle herstammen; die zwei letzten sind es auch, da ihre Polarisirungs-Ebne eine und dieselbe ist, wenn gleich die Polarisirung nach BD sich nach den Richtungen BF, BH, und die nach BE sich nach BF, BG zerlegt hat. Obgleich nun in diesem Falle die Wege der beiden verbundenen Strahlen im ersten Strahle gleich sind, so ist doch, wegen der ungleichen Geschwindigkeiten im Durchdringen des Blättchens, die Wellenfolge im einen hinter der im andern zurückgeblieben, und eben das ist im zweiten Strahle in Beziehung auf die zwei in ihm vereinigten Strahlen der Fall, jedoch mit dem Unterschiede, daß bei dem letztern, wo die Polarisirung auf zwei einander entgegengesetzte Richtungen zurückgeführt ist, die Interferenz so statt findet, daß man eine halbe Wellenlänge als verloren gegangen ansehen muß. Hat zum Beispiel das Gypsblättchen die Dicke, daß grade die Wellen grünen Lichtes um eine ganze Wellenlänge aus einander sind, so gehen diese im ersten Strahle vollkommen verstärkt, die benachbarten blauen und gelben, (als der Phase vollkommener Gleichheit nahe,) etwas sich verstärkend

hervor, und der erste Strahl zeigt sich uns grün; der zweite dagegen zeigt, — vermöge der noch nicht erklärten, aber der Beobachtung entsprechenden Eigenthümlichkeit, eine halbe Wellenlänge zu verlieren, — eine Verstärkung der Farben, deren Wellen um eine halbe Wellenlänge von einander entfernt sind, das ist, derer die im ersten Strahle wegen ihrer sich zerstörenden Interferenz nicht sichtbar wurden. Daß so im letztern Strahle die Ergänzungsfarben des ersten erscheinen, ist offenbar.

Wenn zwei Blättchen mit gekreuzten Axen die Erscheinung hervorbringen, so wirken sie einem dünnern Blättchen gleich; denn der im ersten Blättchen gewöhnlich gebrochene Strahl ist im zweiten der ungewöhnlich gebrochene, und das im ersten Blättchen eingetretene Voreilen der einen Wellenfolge vor der andern wird daher im zweiten, wenn dieses das dünnere ist, zum Theil wieder ausgeglichen, und zwar genau so, wie es dem Unterschiede der Dicken gemäß ist. Die Farbenmischung wird bei dickern Blättchen eintreten, wenn die Voreilung der einen Wellenfolge vier Wellenlängen der kürzern und drei Wellenlängen der längern Wellen beträgt und so weiter.

Diese Erklärung, die sich leicht auf den Fall, wo ein zweiter Spiegel da ist, anwenden läßt, bringt allerdings auf eine sehr genügende Weise die Erscheinungen unter eine den Gesetzen der Undulationen gemäße Ansicht, und obgleich die Entstehung der Polarisation noch genauer erklärt werden muß, obgleich die Eigenthümlichkeit, daß nur ein schon ursprünglich polarisirter Strahl zu diesen Interferenzen Veranlassung geben kann, und daß in dem einen jener Strahlen die Differenz der Wege eine halbe Wellenlänge, in dem andern eine ganze Wellenlänge betragen muß, wenn eine das Licht zerstörende Interferenz statt finden soll, noch manches Unerklärtes enthält, so läßt sich doch die Verbindung mit den Perioden der Anwandelungen und alles, was die Hauptumstände der Erscheinung betrifft, hier so vollkommen übersehen, daß man das Eintreten der Interferenzen wohl als den wahren Grund dieser Erscheinungen ansehen muß.

Farbenringe im polarisirten Lichte.

Unter den mannigfaltigen Erscheinungen, welche die Polarisirung des Lichtes darbietet, verdient noch eine Classe von Erscheinungen hervorgehoben zu werden, nämlich die Farbenringe, die sich unter gewissen Umständen im polarisirten Lichte zeigen. Folgendes von Biot zuerst angegebene Experiment scheint mir am passendsten, um ihre Entstehung zu zeigen. Man nimmt ein Stück Doppelspath, das aber zu diesem Zwecke zwei parallele, auf die Axe doppelter Brechung genau senkrechte Oberflächen haben muß, und befestigt diese Doppelspathplatte so zwischen den beiden Spiegeln unsers Instruments, daß der vom ersten Spiegel kommende polarisirte Strahl sie senkrecht treffe. Zur Anstellung des Versuches ist dann weiter nichts nöthig, als daß man im dunkeln Zimmer einen lebhaften Lichtstrahl, von weißen Wolken ausgehend, unter dem Polarisationswinkel auf den ersten Spiegel fallen lasse; daß man den zweiten Spiegel in die Stellung bringe, wo er diesen polarisirten Strahl nicht reflectirt, und daß man durch eine sehr enge Oeffnung, vor welcher das Auge seine Stellung nimmt, in diesen zweiten Spiegel sehe. Dann sieht man im zweiten Spiegel Farbenkreise, die von einem schwarzen Kreuze durchschnitten sind. Diese Erscheinung erklärt sich leicht aus den Ihnen schon bekannten Gesetzen der Polarisirung. Da das Auge durch eine sehr kleine Oeffnung sieht, so bilden die zum Auge gelangenden Lichtstrahlen einen Kegel, in dessen Mitte die genau senkrecht auf den Doppelspath fallenden Strahlen liegen, statt daß die von den Seiten kommenden eine kleine Neigung gegen diese Senkrechte oder gegen die Axe des Doppelspaths haben. Sie wissen, daß der zweite Spiegel die in ihrem polarisirten Zustande bleibenden Strahlen nicht zurückwirft, also da Dunkel zeigt, wo sie erscheinen sollten, und dieses ist erstlich für die genau senkrechten, das heißt, genau der Axe des Doppelspaths folgenden Strahlen der Fall, aber auch zweitens für diejenigen, die in der Ebne der ersten Reflexions-Ebne liegen, und drittens für die, welche in einer gegen diese Ebne senkrechten Ebne liegen. Die erstern nämlich erleiden gar keine Veränderung, die zweiten erleiden zwar eine schwache Brechung, aber so daß (um den kürzesten Ausdruck zu gebrauchen,) die Axen der Lichttheilchen

ihre Stellung nicht ändern, sondern der ersten Reflexions=Ebne parallel bleiben; eben das ist der Fall bei den ein wenig schief geneigten Strahlen, die eine auf dem Doppelspathe senkrecht gegen die erste Reflexions=Ebne gezogene Linie treffen; daher erscheint ein schwarzes Kreuz, dessen Lage durch die auf dem Doppelspathe in der Reflexions=Ebne und senkrecht gegen sie gezogene Linie bestimmt wird. Alle von diesen beiden Ebnen abweichenden Strahlen verändern die Richtung ihrer Polarisation, und da hier ähnliche Umstände wie bei den dünnen Gypsblättchen eintreten, so werden nur gewisse Farbenstrahlen depolarisirt. Man mag nämlich hier entweder nach Biot's Ansicht den polarisirenden Kräften, die bei so geringer Neigung des Strahles gegen die Axe des Doppelspaths sehr schwach wirken, nur die Wirkung, eine bewegliche Polarisation oder eine Oscillation der Lichttheilchen hervorzubringen, zuschreiben, oder nach Arago's und Fresnel's Ansicht die ungleichen Wellenfolgen des in der Doppelspathplatte gewöhnlich und ungewöhnlich gebrochenen Strahles berücksichtigen, so läßt sich nachweisen, daß in einer gewissen Entfernung von der Mitte bestimmte Farben und zwar genau in der Ordnung, wie bei Newton's Farbenringen, hervortreten müssen; ja man kann sich leicht überzeugen, daß selbst die Größe der Ringe, die von der Dicke jener Platte abhängt, sich nach beiden Ansichten berechnen läßt. Bei Biot bestimmt man die Wiederkehr eben der Farbe im zweiten, dritten, Ringe nach der für die Perioden der Oscillationen angenommenen Größe der Zwischenräume; bei Fresnel berechnet man sie nach dem Voreilen der Wellenfolge des einen Strahles vor der des andern, um eine oder zwei oder drei Wellenlängen und so weiter, und dieses Voreilen beträgt bei so geringer Neigung der Strahlen wenig, da in diesem Falle beide Strahlen, der gewöhnlich gebrochene und der ungewöhnlich gebrochene, beinahe gleiche Geschwindigkeit haben. Bei größerer Verschiedenheit der Geschwindigkeiten, das ist bei einer viele Wellenlängen betragenden Differenz, kommen hier so wenig, wie bei Newton's Farbenringen, Farben=Erscheinungen vor.

Eben diese Farbenringe kann man auch mit Hülfe zweier Turmalinplatten darstellen. Da die erste derselben, wenn sie dick genug ist, das Licht in einer auf die Richtung der Axe senkrechten Richtung polarisirt, so läßt die zweite, wie Sie schon wissen,

dieses polarisirte Licht nicht durch, wenn ihre Axen senkrecht gegen die Richtung der ersten sind; aber die Durchlassung des Lichtes tritt wieder ein, wenn ein zwischen beide Platten gebrachter doppelt brechender Körper die Lichtstrahlen ganz oder zum Theil depolarisirt. Eine solche theilweise Depolarisirung aber ist es, die sich uns in jenen Ringen kenntlich macht, und daher erscheinen auch hier, beim Durchsehen durch die Turmalinplatten, zwischen denen ein gehörig geschnittener doppelt brechender Crystall ist, ähnliche Ringe. Da diese Ringe immer dann entstehen, wenn man Strahlen, die nicht zu sehr gegen die Axen doppelter Brechung geneigt sind, beobachtet, so kann man bei den Körpern, deren beide Axen nur einen kleinen Winkel mit einander machen, zum Beispiel beim Salpeter, die Ringe um beide Axen zugleich wahrnehmen, wenn man die Platte so schneidet, daß beide Axen nicht viel von der senkrechten Richtung gegen die Oberfläche abweichen. Dann stellen sich zunächst um die beiden Mittelpuncte farbige Linien, die beinahe für Kreise gelten können, dar; diese werden aber von Linien umfaßt, die beide Kreissysteme zugleich einschließen, und sich, je weiter man vom Mittelpuncte sich entfernt, desto mehr einer ungefähr elliptischen Form nähern. Auch bei ihnen giebt es dann dunkle Linien, die das darstellen, was vorhin das schwarze Kreuz war; da ich aber ohne allzugroße Weitläuftigkeit die Regeln für die Bildung dieser Linien nicht angeben kann, so begnüge ich mich, sie obenhin zu erwähnen.

Verweilen muß ich dagegen noch bei den schönen und leicht darzustellenden Farbenringen, die sich in schnell gekühlten Glasplatten darstellen. Nimmt man Platten von reinem Glase, etwa 2 Linien dick und läßt sie nach dem Glühen schnell abkühlen, so sind sie geeignet, diese Erscheinungen hervorzubringen *). Man stellt nämlich die Spiegel unseres Instruments beide auf den Polarisationswinkel, bringt eine oder mehrere solcher Platten so, daß sie vom polarisirten Strahle senkrecht getroffen werden, zwischen die Spiegel, und blickt nun, während das Licht weißer Wolken auf den

*) Selbst größere Stücke aus dem Boden der Bologneser Gläser zeigen das schwarze Kreuz.

ersten Spiegel fällt, in den zweiten Spiegel. Ist der zweite Spiegel so gestellt, daß er die polarisirten Strahlen nicht zurückwirft, so sieht man bei einer viereckigen Glasplatte, deren eine Seite mit der ersten Reflexions-Ebne parallel, die andre auf sie senkrecht ist, ein schwarzes Kreuz durch die Mitte der Seiten gehend, so wie **Fig. 147.** darstellt; in den Ecken aber zeigen sich Flecke, die einfarbig sein, oder auch schon Ringe mehrerer Farben darstellen können *). Legt man eine zweite Platte auf die erste, so daß ihre Seiten zusammenfallen, so bleibt jenes Kreuz, aber in den Ecken nimmt die Zahl der Farben, welche in Kreisen und Theilen von Kreisen jenen vorhin schon bemerkten Fleck umgeben, zu; diese Zahl von Ringen steigt noch mehr bei vermehrten Platten, und man nimmt wahr, daß die Farben nach dem Gesetze der Newton'schen Farbenringe fortschreiten. Dreht man nun den zweiten Spiegel in seiner Fassung um 90°, so daß die polarisirt aus dem ersten Spiegel kommenden Strahlen vollkommen zurückgeworfen werden müssen; so sieht man im zweiten Spiegel ein weißes Kreuz statt des schwarzen, und die Farben erscheinen in gleicher Anordnung, aber so, daß es allemal die Ergänzungsfarben der eben vorhin beobachteten sind. Diese schönen Farben-Erscheinungen sind von Seebek entdeckt, und heißen daher die Seebek'schen.

Die Erklärung dieser Farben, die man entoptische genannt hat, weil sie im Innern der Körper zu entstehen scheinen, muß offenbar nach den vorigen Grundsätzen geführt werden; aber da das schnell gekühlte Glas keine eigentliche Crystallform darbietet, und deshalb auch keine solche innere Bildung wie bei natürlichen Crystallen vorauszusetzen ist; so sind diese Farben-Erscheinungen nicht so wie vorhin beim Doppelspath von der Form der Platte unabhängig, sondern sie ändern sich, wenn man Stücke derselben Platte abschneidet. Die Lage jener, den Kreisbogen zugehörigen Mittelpuncte muß sich also theils durch die Bildung im Innern, so wie sie bei

*) Die vier Arme des schwarzen Kreuzes breiten sich ganz nahe an dem Rande der Platte seitwärts aus, und wenn man die Platte ein wenig von der oben angegebnen Stellung entfernt, so daß ihre Seiten etwas geneigt gegen die erste Reflexions-Ebne sind, so sind die vier Arme des Kreuzes fast wie ein **S** gekrümmt.

dem schnellen Abkühlen entsteht, theils aber auch durch jede Aenderung in der äußern Form bestimmen, worüber noch keine genauen Regeln bekannt sind.

Polarisirtes Licht, das vom blauen Himmel ausgeht. — Biot's Vorschlag zur Vergleichung der Farben.

Endlich zum Schlusse dieser weitläuftigen Mittheilungen über die Polarisirung des Lichtes will ich nur noch zwei Bemerkungen anführen, die erste betrifft die Polarisirung des vom blauen Himmel zurückgeworfenen Lichtes. Ich habe immer das Licht weißer Wolken als auf den ersten Spiegel unsers Instrumentes fallend, verlangt, weil dieses Licht noch keine ursprüngliche Polarisation besitzt, läßt man dagegen Licht vom blauen Himmel auffallen, so findet man in diesem meistens schon Spuren von Polarisation, ehe es noch den Spiegel trifft. Man kann dies leicht wahrnehmen, indem man ein dünnes Gypsblättchen so hält, daß das vom blauen Himmel kommende Licht durch dasselbe gehen muß, ehe es den ersten Spiegel erreicht; sieht man dann ungefähr in der Richtung des Polarisationswinkels in diesen ersten Spiegel, so ist das Bild des Gypsblättchens darin farbig zu sehen, welches nicht der Fall wäre, wenn ein unpolarisirtes Licht durch den Gyps auf den ersten Spiegel gefallen wäre. Eben so geben auch die geglühten Glasplatten in der vorhin angegebenen Lage gehalten, im ersten Spiegel gesehen, die Seebek'schen Figuren, und diese Erscheinungen sind ungleich, je nachdem man die Strahlen von verschiedenen Puncten des Himmels, mehr oder minder der Sonne entgegengesetzt, in den Spiegel fallen läßt.

Die zweite Bemerkung betrifft Biot's Vorschlag zu einem Farbenmaaße. Die Polarisation des Lichtes bietet uns erstlich ein Mittel dar, die farbigen Körper von ihrem Spiegelglanze zu befreien, und daher ihre Farben reiner hervortretend zu zeigen, wie Sie sich aus der vorigen Vorlesung erinnern werden; aber zweitens geben auch Gypsblättchen von genau bestimmter Dicke immer gleiche Farben in den vorhin betrachteten Versuchen, und diese können daher zu strenge vergleichbaren Farben-Angaben dienen, mit denen sich die Farben der natürlichen Körper in den meisten

Fällen genau vergleichen lassen; Biot hat hiezu noch nähere Anleitung gegeben.

Diese durch die Polarisirung des Lichtes hervorgehenden Erscheinungen mögen hinreichen, um Ihnen zu zeigen, welche ganz neue Eigenschaften des Lichtes uns durch sie bekannt geworden sind. Erschöpft ist die große Menge der Erscheinungen, die man als von der Polarisirung abhängend kennen gelernt hat, damit noch lange nicht; aber theils scheint es mir nicht angemessen, Sie mit Versuchen zu unterhalten, deren Erklärung noch schwieriger ist, theils muß ich doch auch den Mittheilungen über eine einzelne Classe von Phänomenen ein Ziel setzen. Und indem ich hiemit zugleich die gesammten Untersuchungen über die optischen Phänomene beendige, und zu noch einigen Bemerkungen über die Entstehung des Leuchtens übergehe, kann ich nicht unterlassen, noch einen Rückblick auf die bisherigen Betrachtungen zu werfen. Die neueste Zeit hat unsre Kenntniß der mannigfaltigsten optischen Erscheinungen in hohem Grade bereichert, aber wir müssen wohl gestehen, daß diese Entdeckungen uns tiefer in das Labyrinth räthselhafter Erfolge hineingeführt haben, ohne uns noch den Faden in die Hand zu geben, der uns leiten könnte, um den Ausgang aus dem Labyrinthe zu finden. Sie werden daher, hoffe ich, mich nicht tadeln, daß ich keine entschiedene Ansicht über die Natur des Lichtes ausgesprochen habe, werden aber auch nicht über den Fortgang der Wissenschaft selbst unzufrieden sein, der uns, bei so reichen und immer neuen Entdeckungen, doch immer noch über die wichtigsten Fragen zu keiner Gewißheit gebracht hat. Ich habe, glaube ich, schon bei einer andern Gelegenheit bemerkt, daß der Gewinn, welchen die Naturforschung uns darbietet, sehr oft darin besteht, daß sie uns in dem Reichthume des schon entdeckten auf einen neuen Reichthum noch unentdeckter Gesetze hinweist, und daß sie durch die sich uns immer wieder darbietenden Räthsel ebenso sehr unsre Wißbegierde reizt, als sie uns in denselben die Unermeßlichkeit der Natur kennen lehrt. — Die neuesten Entdeckungen in der Optik können wohl als Beweis hiefür gelten.

Neunzehnte Vorlesung.

Nachdem ich Sie, m. h. H., so lange mit den Untersuchungen über den Weg der Lichtstrahlen, über die Gesetze der Fortpflanzung des Lichtes, unterhalten habe, muß ich Sie doch endlich auch noch mit den verschiedenen Entstehungs-Arten des Leuchtens und mit den chemischen Wirkungen, die das Licht ausübt, bekannt machen.

Licht-Erzeugung beim Verbrennen und andern chemischen Prozessen.

Woher die selbstleuchtenden Himmelskörper ihr Licht haben, ob die dortige Licht-Erzeugung mit der beim Verbrennen Aehnlichkeit habe oder nicht, das liegt so weit außer dem Kreise unsrer Forschungen, daß ich diese Fragen wohl ganz übergehen darf. Auf der Erde ist bekanntlich der Verbrennungsproceß derjenige, der neben der Wärme zugleich auch das lebhafteste Licht hervorbringt. Wir wissen nicht, ob hier bei der Zersetzung des Sauerstoffgas, womit oft zugleich eine Zersetzung der brennenden oder glühenden Körper, fast allemal aber eine Verbindung des Sauerstoffs mit einem Bestandtheile des brennbaren Körpers, verbunden ist, ein Freiwerden des Lichtstoffs statt findet, oder ob die Gewalt der chemischen Veränderungen jene Vibrationen des Aethers hervorbringt, die wir nach den schon angeführten Meinungen vielleicht als Ursache der Licht-Erscheinungen ansehen müssen. Da diese Erscheinungen des Glühens mit oder ohne Flamme immer mit starker Wärme-Entwickelung verbunden sind, so werde ich von den genauern Bedingungen der Verbrennung bei einer andern Gelegenheit reden, und jetzt nur einige Fälle, wo vorzüglich glänzendes Licht erscheint, erwähnen. Dahin gehört das Verbrennen des Phosphors, ja auch andrer brennbarer Körper, selbst der Metalle, im Sauerstoffgas, wo die bei der Hitze eintretende lebhafte Zersetzung dieser Luft-Art ein das Auge blendendes Licht hervorbringt. Ein zweiter Fall eines glänzend hervortretenden Lichtes ist das von Drummond zuerst beschriebene helle Glühen des Kalks im

Sauerstoffgas. Obgleich nämlich das Glühen nicht nothwendig die Gegenwart des Sauerstoffs fordert, so wird es doch allemal bei dem Zutritt des Sauerstoffgas und durch die Zersetzung desselben lebhafter; in ausgezeichnetem Maaße aber ist dies der Fall, wenn man Kreide, kohlensauren Kalk, der Erhitzung durch Weingeistflammen aussetzt, und dabei einen Strom jener Luft-Art sowohl die Flammen anfachen, als die Kalkmasse selbst treffen läßt.

Aber nicht bloß beim Zersetzen des Sauerstoffgas entsteht Licht, sondern auch in vielen andern Fällen, wo chemische Verbindungen eintreten, namentlich wenn Metalle mit Schwefel stark erhitzt werden, wenn Terpentin-Oel mit Salpetersäure und Schwefelsäure gemischt wird, und in mehreren Fällen.

Zu diesen Licht-Entwickelungen, welche chemischen Zersetzungen und Verbindungen ihren Ursprung verdanken, gehört auch das in niedrigen Temperaturen statt findende Leuchten des Phosphors, der eben von dieser Eigenschaft seinen Namen hat. Auch hier ist das Leuchten in der atmosphärischen Luft mit einer Zersetzung des Sauerstoffgas verbunden, die durch eine Verbindung des Sauerstoffs mit Phosphor zu Phosphorsäure und im eingeschlossenen Raume durch eine Verminderung der Luft kenntlich wird. Diese Verbindung, die also als ein langsames Verbrennen des Phosphors anzusehen ist, findet schon bei sehr niedrigen Temperaturen statt; das lebhafte Verbrennen tritt in atmosphärischer Luft bei 30° Reaum. ein, und ein unter Wasser erhitzter Phosphor leuchtet auch da. Es ist merkwürdig, daß, obgleich dieses Leuchten auch bei niedrigen Temperaturen auf der Verbindung mit dem Sauerstoff beruht, es dennoch im ganz reinen Sauerstoffgas, wenn dieses die Dichtigkeit besitzt, welche dem gewöhnlichen Drucke der Luft entspricht, nicht so gut bei niedrigen Temperaturen eintritt; verdünnt man dagegen diese Luft-Art, so treten sogleich weiße Dämpfe aus dem Phosphor hervor und das Leuchten stellt sich, selbst bei niedrigen Wärmegraden, ein; und eben so wie im letzten Falle verhält es sich, wenn der Phosphor sich in einer mit Stickgas vermischten Sauerstoffluft befindet.

Phosphorescenz durch Erwärmung.

Wesentlich hiervon verschieden scheinen diejenigen Erscheinungen von Phosphorescenz zu sein, die ohne merkliche chemische Veränderungen in den Körpern zu bewirken, bei der Erwärmung eintreten. Eine Menge von Körpern besitzt die Eigenschaft, erwärmt dieses stille Leuchten ohne Verbrennung, das wir Phosphorescenz nennen, hervorzubringen. Unter diesen gehört der Flußspath zu den vorzüglich ausgezeichneten, indem er schon bei 55° Reaum. leuchtet, und nach Verschiedenheit der einzelnen Stücke ein violettes, grünes oder gelbes Licht aussendet. Bei einigen Flußspathen ist die Farbe des Lichtes bei erheblicher Wärme grün und geht beim Abkühlen ins Violette über. Auf einen heißen Ofen gelegt sieht man ihn fast allemal leuchten, jedoch ist dieses Licht, wie alle diese Phosphorescenzen, nur im Dunkeln kenntlich. Die sehr zahlreichen Versuche von Heinrich*) zeigen, daß es sehr viele Mineralien giebt, die erwärmt wenigstens ein schwaches Licht geben, jedoch oft so schwach, daß nur das lange im tiefsten Dunkel verweilende Auge empfindlich genug ist, um es wahrzunehmen. Unter den uns täglich vorkommenden Körpern leuchten Eierschalen auf einer heißen Metallplatte grünlich und bei geringerer Hitze gelb, Austerschalen grünlich, Bernstein sehr glänzend u. s. w.

Phosphorescenz durch Bestrahlung.

Eine vorzüglich merkwürdige Art der Phosphorescenz ist die durch Bestrahlung. Manche Körper nämlich haben die Fähigkeit, nachdem sie der Sonne ausgesetzt gewesen, nachdem sie ihre Strahlen gleichsam eingesogen haben, lange Zeit im Dunkeln Licht auszusenden. Einige Diamanten besitzen diese Eigenschaft in so hohem Grade, daß sie wenige Secunden den Sonnenstrahlen ausgesetzt, eine Stunde lang, und selbst unter Wasser, sich im Dunkeln leuchtend zeigen; aber nur wenige besitzen diese Vollkommenheit des Leuchtens. Wenn man Diamanten den blauen Lichtstrahlen ausgesetzt hat, so zeigen sie sich besser leuchtend, als wenn

---

*) Die Phosphorescenz der Körper von P. Heinrich, Nürnberg, 1811, 1812, 1815, 1820.

man sie den rothen Strahlen aussetzt. Einige Diamanten, welche die Eigenschaft leuchtend zu werden, nicht besaßen, haben sie, nach Dessaigne's Erzählung erlangt, wenn man sie gegen einander gestoßen, oder mit Feilen geschlagen hatte. Auch der Flußspath, der durch Erwärmung so bedeutend leuchtet, wird durch eine auch nur kurze Zeit dauernde Bestrahlung auf geraume Zeit selbstleuchtend, nur muß man, wie sich versteht, die Beobachtung sogleich im tiefen Dunkel anstellen, nachdem man ihn so eben den Sonnenstrahlen ausgesetzt hatte.

Vorzüglich verdienen einige künstlich bereitete Körper hier erwähnt zu werden. Der Bononische oder Bolognesische Leuchtstein, aus gepulvertem Schwerspath durch Eiweiß wieder zu einer Masse verbunden, und lange stark geglüht, braucht nur $\frac{1}{4}$ Min. der Sonne ausgesetzt zu werden, um längere Zeit, zuweilen 1 Stunde lang, im Dunkeln feurig roth zu erscheinen. Der Canton'sche Phosphor, gebrannte Austerschalen mit ein Drittel so viel Schwefelleber gemischt und 1 Stunde lang stark geglüht, zeigt ähnliche Erfolge. Aber noch schöner zeigt, nach Osann's Beobachtung, der Antimonphosphor diese Eigenschaft. Diesen erhielt Osann, indem er calcinirte Austerschalen mit Schwefel-Antimon eben so behandelte, wie es bei Verfertigung des Canton'schen Phosphors geschieht, und fand ihn, unter gleichen Umständen mit dem Bononischen Phosphor 1 Minute lang dem Tageslichte ausgesetzt, 149 Minuten leuchtend, statt daß das Leuchten bei dem Bononischen nur 4 Minuten dauerte. Auch durch Erwärmung zeigt dieser Leuchtstein schöne Wirkungen.

In Hinsicht auf die Schlüsse, welche sich vielleicht über die Entstehung dieses Leuchtens ziehen lassen, sind vorzüglich einige von v. Grotthus angestellte Versuche merkwürdig. Er beobachtete das Leuchten sowohl durch Erwärmung als durch Bestrahlung an einer Flußspath-Art, die den Namen Chlorophan führt, und fand hier Folgendes: Wenn dieser Stein sehr lange im Dunkeln aufbewahrt war, und nun, ohne dem Lichte ausgesetzt gewesen zu sein, im Dunkeln beobachtet wurde, so leuchtete er nicht und ward auch durch eine mäßige Wärme nicht leuchtend; war er aber

auch nur einige Minuten dem Sonnenlichte ausgesetzt gewesen, so behielt er mehrere Tage lang, vorzüglich, wenn man ihn in der Zwischenzeit zwischen den Versuchen in einer Schachtel dicht verschlossen aufbewahrte, die Eigenschaft im Dunkeln zu leuchten. Hörte dann, indem man ihn immer nur im Dunkeln aus der Schachtel herausnahm, damit er nicht aufs Neue der Bestrahlung ausgesetzt sei, nach mehrern Tagen sein Leuchten auf, so brachte doch die Wärme der Hand ihn wieder zum Leuchten, und später, selbst nach 36 Nächten, reichte doch eine Wärme von 40° Reaum. dazu hin. Wurde er in kalter Luft der Sonne ausgesetzt, so leuchtete er in der Wärme im Dunkeln desto schöner. Von Grotthus zieht hieraus den Schluß, daß alle durch Erwärmung hervorgehende Phosphorescenz nur in Folge einer früher statt gefundenen Bestrahlung eintrete und also nur eine Wirkung des empfangenen Lichtes sei. Daß übrigens bei der Bestrahlung die Wärme keinen Antheil an dem Leuchtendwerden hat, erhellt aus der oft nur sehr kurze Zeit nöthigen, und bei großer Kälte eben so guten Erfolg habenden Einwirkung der Sonnenstrahlen.

Hier scheint es also allerdings, als ob man sagen dürfe, die auf den Körper fallende und von ihm eingesogene Lichtmaterie ströme nachher wieder aus; jedoch stimmt damit das nicht überein, daß es keinen merklichen Einfluß auf die Farbe des phosphorischen Lichtes hat, wenn man den Körper auch einem einfach farbigen Lichte aussetzt. Dies letztere ließe sich wohl eher durch Undulationen erklären, wenn man sagte, daß die auf den Körper treffenden Lichtwellen ihn doch immer zu denjenigen Vibrationen, die seiner eigenthümlichen Beschaffenheit angemessen sind, anregen; aber da erhellt wieder durchaus nicht, warum denn das Aufbewahren im eng verschlossenen Raume diese Vibrationen hindert, und warum sie wieder eintreten, wenn man den Körper wieder frei im Dunkeln aufstellt. Es scheint daher auch hier sich keine Entscheidung für eine der beiden Theorieen zu ergeben.

Phosphorescenz lebender Thiere, todter thierischer Körper und Pflanzen. Leuchten des Meeres.

Sehr merkwürdig sind unter den Erscheinungen des Leuchtens die, welche sich uns an lebenden Thieren und an den Theilen todter Thiere, so wie an Pflanzen, darbieten. Das Leuchten des Holzes ist bekannt. Nach Heinrich's Bemerkung ist nicht schon ein gewisser Grad der Fäulniß nöthig, um einiges Leuchten hervorzubringen, sondern selbst gesundes Holz, vorzüglich Wurzelstücke, leuchten, jedoch nur dann, wenn ihnen die volle Lebenskraft, um neue Schößlinge hervorzubringen, fehlt. Indeß ist in den meisten Fällen diese Phosphorescenz wohl sehr schwach, und zu dem Hervorbringen des ziemlich lebhaften, selbst in der Dämmerung schon kenntlich werdenden, weißen Lichtes, das wir zuweilen am Holze wahrnehmen, scheint ein sehr bestimmter Grad von Fäulniß zu gehören. In einzelnen Fällen hat man ganze morsch gewordene Baumstämme im Dunkeln leuchtend gesehen. Dieses Leuchten dauert selbst unter Wasser fort, scheint aber im Sauerstoffgas nicht lebhafter zu werden.

Unter den todten Thieren sind die Seefische ganz vorzüglich zum Leuchten geeignet, und zeigen sich am besten in dem Zeitraume leuchtend, der, ein oder zwei Tage nach dem Tode, der Fäulniß vorhergeht; bei der Fäulniß selbst nimmt das Leuchten wieder ab. Aber noch weit merkwürdiger und oft einen ungemein schönen Anblick darbietend ist das Leuchten lebender Thiere, unter denen uns die Johanniswürmchen am bekanntesten sind. Das schöne grünliche Licht dieser an warmen Sommer-Abenden oft in großer Menge herumschwärmenden und im Grase kriechenden Insecten gewährt in der Dunkelheit eines recht freundlichen, milden Sommer-Abends ein zauberisch-schönes Schauspiel. Aber auch hier können wir fast bloß angeben, was man beobachtet hat, ohne die eigentlichen Ursachen des Leuchtens näher auffinden zu können. Das Leuchten scheint da statt zu finden, wo kleine Oeffnungen in der Haut uns die innern Theile als durchblickend zu sehen erlauben; auch wo das Thier durch einen Stich verwundet ist, tritt diese leuchtende Substanz hervor. Das Leuchten dauert selbst nach dem Tode noch einige Zeit fort, ist aber doch am lebhaftesten, so lange das Thier seine

volle Lebensthätigkeit hat. Da von dieser viel abzuhängen scheint so läßt sich über den unmittelbaren Einfluß des Sauerstoffgas und andrer Luft=Arten auf das Leuchten nicht gut urtheilen, indem diejenigen Luft=Arten, welche die Lebensthätigkeit erhöhen, gewiß mittelbar das Leuchten befördern. Dagegen scheint das Sonnenlicht am Tage das Leuchten am Abend zu befördern, indem Thierchen ähnlicher Art sich nicht leuchtend gezeigt haben, wenn man sie am Tage im Dunkeln aufbehalten hatte.

Die warmen Gegenden der Erde sind noch reicher an leuchtenden Thieren, und einige unter diesen sind sehr groß. Der Laternenträger soll soviel Licht geben, daß die dort lebenden Menschen ihn als Leuchte beim Reisen im Dunkeln gebrauchen.

Von einem solchen Leuchten lebender Thiere hängt auch das Leuchten des Meeres ab. Am häufigsten scheint sich dies feurige Leuchten des Meerwassers in den heißen Gegenden zu zeigen, aber auch in unsern Gegenden kömmt es vor*); und dort wie hier zeigen die Vergrößerungsgläser eine Mannigfaltigkeit von Thierchen, die dazu beitragen. Da die Thierchen bei der Bewegung am meisten leuchten, so bringt die Bewegung des Wassers ein verstärktes Leuchten hervor. Außer diesem eigentlichen Leuchten hat man auch ein ganz weißes Glänzen, als ob das Wasser mit Schnee bedeckt wäre, gesehen.

Licht=Entwickelung beim Stoßen, Reiben und Zerbrechen fester Körper.

Es ist sehr bekannt, daß Zucker, im Dunkeln zerbrochen oder zerschlagen, leuchtet, und eben das findet bei zahlreichen spröden Körpern, vorzüglich bei crystallisirten, statt. Auch hier muß man einzig durch Versuche diejenigen Körper, welche diese Eigenschaft in vorzüglichem Grade besitzen, kennen lernen; doch hat Heinrich gefunden, daß die durch Erwärmung gut leuchtend werdenden Körper auch beim Zerbrechen Licht zu geben pflegen. Reibt man solche

*) Michaelis über das Leuchten der Ostsee.

Körper an einander, so pflegt, wie namentlich bei weißem Zucker, das Leuchten noch schöner zu sein. Dieses Leuchten ist bekanntlich oft ohne erhebliche Wärme und kann also mit dem Glühen, dem es ohnehin nicht gleicht, nicht zusammengestellt werden. Daß Electricität dabei statt findet, ist wenigstens für die meisten Fälle eben nicht glaublich. Aber bekannt ist, daß bei starkem und fortgesetztem Reiben die lebhaftesten Licht-Erscheinungen hervorgehen können, daß Körper, die sonst sehr wenig zum Phosphoresciren geneigt sind, an einen schnell gehenden Mühlstein gehalten, leuchtend werden, wozu freilich die dabei statt findende Erhitzung mitwirkt. Die Farbe des hier entstehenden Lichtes ist nach Verschiedenheit der Körper verschieden, aber auch ungleich bei mehr oder minderer Schnelligkeit und Gewalt des Reibens, wobei es aus dem matten weißlichen oft ins feuerrothe übergeht. Da wo wegen großer Hitze, die durch Reiben entstanden ist, ein Glühen von Metallen, z. B. der feinen abgestoßenen Stahltheilchen, entsteht, da hat die umgebende Luft Einfluß auf die Erscheinungen, und Sauerstoffgas verstärkt sie.

Phosphorescenz bei der Crystallisation und bei der Zusammendrückung flüssiger Körper.

Endlich muß ich zu diesen Erscheinungen, die fast alle räthselhaft sind, noch folgende beifügen. Auch bei der Crystallisirung, wenn gewisse Salze sich ausscheiden, hat man zuweilen lebhaftes Leuchten bemerkt. Und endlich entsteht auch bei plötzlicher Aenderung der Dichtigkeit der Luft ein Leuchten, so wohl wenn man Luft (am besten Sauerstoffgas und Wasserstoffgas gemischt) durch einen Stoß comprimirt, als wenn die in einer Blase verdichtete Luft diese zersprengt und sich ausdehnt. Dieses Licht bei plötzlicher Ausdehnung der Luft ist oft beim Abschießen der Windbüchse wahrgenommen, und scheint da sich verstärkt zu zeigen, wenn die sehr verdichtete Luft auf harte Körper stößt; — ob dann, wie einige glauben, Electricität frei wird, oder ob der Widerstand, welchen diese festen Körper der Ausdehnung der Luft entgegensetzen, Ursache des Leuchtens sei, ist noch unbekannt. Selbst die plötzliche Compression eines sorgfältig eingeschlossenen Wassers giebt, nach Ver-

suchen von Dessaigne und Heinrich, ein merkliches Leuchten *).

Alle diese Versuche haben uns der Entscheidung der Frage, ob das Licht als Materie, als Bestandtheil der Körper anzusehen sei, fast gar nicht näher gebracht, indem freilich bei den Zersetzungen sich dieses allenfalls mit einigem Grunde annehmen läßt, aber in andern Fällen das Entweichen dieses Lichtstoffs wenigstens keine solche Veränderungen in den Körpern hervorbringt, daß man darüber irgend etwas Sicheres sagen könnte. Ist der Lichtstoff aus den durch Bestrahlung leuchtend gewordenen Körpern entwichen, so scheinen uns die Körper darum noch eben dieselben, und hier so wohl als in den Fällen, wo die das Licht nicht zurückstrahlenden Körper es in sich aufzunehmen scheinen, bleibt uns nichts übrig, als zu sagen, daß diese feine Materie in den Körpern vorhanden sein kann, ohne uns große Zeichen ihrer Gegenwart zu geben.

Etwas entscheidender für die Materialität des Lichtes scheinen die — verhältnißmäßig wenigen — Fälle zu sein, wo der Einfluß des Lichtes merkliche Veränderungen in den Körpern hervorbringt. Ich werde nur einige dieser Fälle anführen.

Das Hornsilber oder Chlorsilber, welches durch Kochsalz als Niederschlag aus salpetersaurer Silber = Auflösung erhalten wird, nimmt, statt der zuerst weißen Farbe, im Lichte eine violette Farbe an und wird dann schwarz. Hiebei ist merkwürdig, daß der violette Strahl diese Schwärzung am schnellsten und vollkommensten bewirkt, und daß sie neben dem prismatischen Farbenbilde selbst da noch statt findet, wo über die Grenze des Violett hinaus keine sichtbare Lichtstrahlen mehr hin gelangen. Es scheint hiernach, daß es Sonnenstrahlen giebt, die noch stärker brechbar als die violetten sind, die aber auf unser Auge im höchsten Grade

---

*) Da ich in der ersten Abth. des Art. Licht in Gehlers Wörterbuch alles, was mir über die Entstehung des Leuchtens bekannt geworden ist, benutzt habe, so verweise ich in Hinsicht auf Litteratur auf diesen Artikel.

schwach wirken und nur durch diese Einwirkung auf chemische Veränderungen sich uns merklich machen. Und so wie hier jenseits der am meisten gebrochenen violetten Strahlen noch Wirkungen des Lichtes hervorgehen, so zeigt sich umgekehrt an den Grenzen der am wenigsten brechbaren rothen Strahlen noch Wärme; es ergiebt sich also, daß die Wärmestrahlen sich mehr mit den minder brechbaren Lichtstrahlen, die Strahlen, welche chemische Wirkungen hervorbringen, mehr mit den stärker gebrochenen Lichtstrahlen vereinigt finden. Ebenso ungleiche Wirkungen zeigen die verschiedenen Farbenstrahlen auf eine Mischung gleicher Mengen Chlorgas und Wasserstoffgas. Diese Mischung bleibt in mäßigen Temperaturen im Dunkeln unverändert, am bloßen Tageslichte verbinden sich die beiden Luft=Arten langsam zu Salzsäure, im Sonnenlichte aber erfolgt diese Verbindung schnell und mit Verpuffung. Setzt man die Mischung dem Sonnenlichte so aus, daß es nur durch rothes Glas zu derselben gelangen kann, so tritt die Verbindung gar nicht oder höchstens sehr langsam ein, unter blauem Glase dagegen erfolgt sie bald und wohl gar auch mit Verpuffung. Vogel hat bemerkt, daß die Blätter der Klatschrose sich unter blauem Glase schneller entfärben, als unter farbelosem Glase. Aehnliche Einwirkungen des Lichtes überhaupt und der einzelnen Farbenstrahlen finden mannigfaltig statt, doch läßt sich ein allgemeines Gesetz, ob das Licht oxydirend oder desoxydirend wirke, oder sonst zu Entwickelung bestimmter Stoffe, zur Verbindung andrer, vorzugsweise beitrage, nicht angeben.

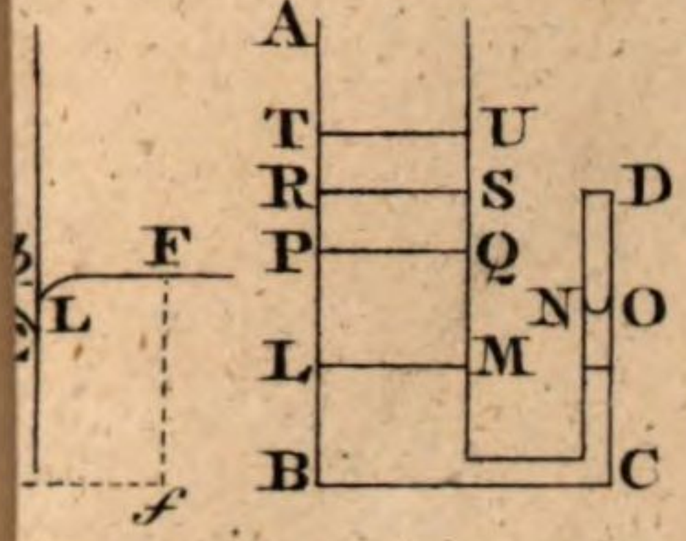
Daß diese in den Veränderungen wägbarer Bestandtheile kenntlichen Erfolge sich besser durch den Zutritt einer Lichtmaterie als durch Vibrationen erklären lassen, scheint wohl einleuchtend; doch hat Arago gezeigt, daß die Interferenzen auch bei den chemischen Einwirkungen merklich sind. Er stellte nämlich zwei sehr wenig gegen einander geneigte Spiegel so auf, wie es früher (am Ende der 15. Vorles.) angegeben ist, so daß man die durch Interferenz sich darstellenden hellen und dunkeln Streifen wahrnehmen konnte. Diesen Strahlen wurde frisch bereitetes Chlorsilber ausgesetzt, und es zeigte sich nun, daß die Schwärzung desselben ebenso unterbrochen war, sich mit ungeschwärzten Zwischenräumen so darstellte, wie sich die Licht=Erscheinung dem Auge darstellte.

Also waren die Stellen, wo das Zusammentreffen zweier Lichtstrahlen die Erleuchtung unterbricht, auch in chemischer Beziehung von dem Lichte nicht verändert worden. Indeß, wenn gleich dadurch die Ueberzeugung sich bestätiget, daß zwei Lichtstrahlen auf die schon oben angegebene Weise ihre Wirkungen aufheben; so bleibt es doch noch immer unentschieden, ob ein regelmäßig wechselnder Zustand der Lichttheilchen, wie die Emanationstheorie sie annimmt, oder ob eine regelmäßige Folge der nach Fresnel's Theorie anzunehmenden, jeden Augenblick ihre Richtung ändernden Quervibrationen die Ursache dieser Interferenzen ist; oder — müssen wir wohl hinzusetzen, — ob wir einer in wesentlichen Puncten von beiden Ansichten abweichenden Theorie bedürfen, um die Erscheinungen des Lichtes zu erklären.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Bayerische
Staatsbibliothek
München

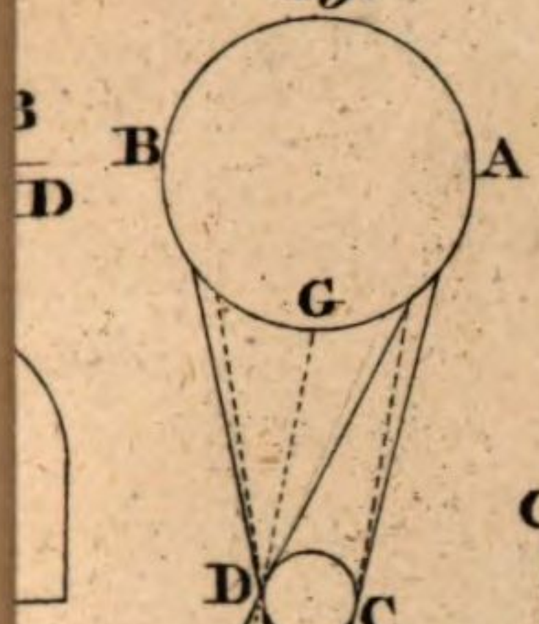
7.



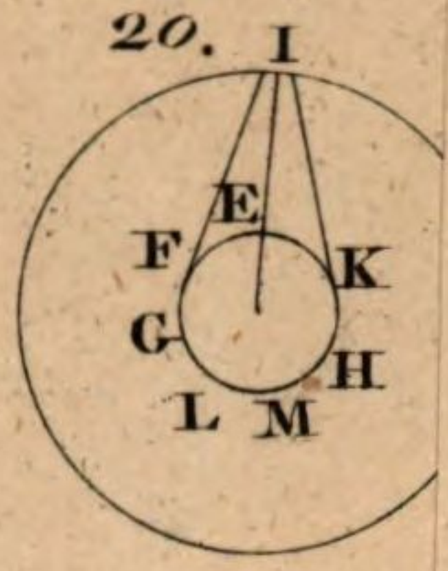
8.

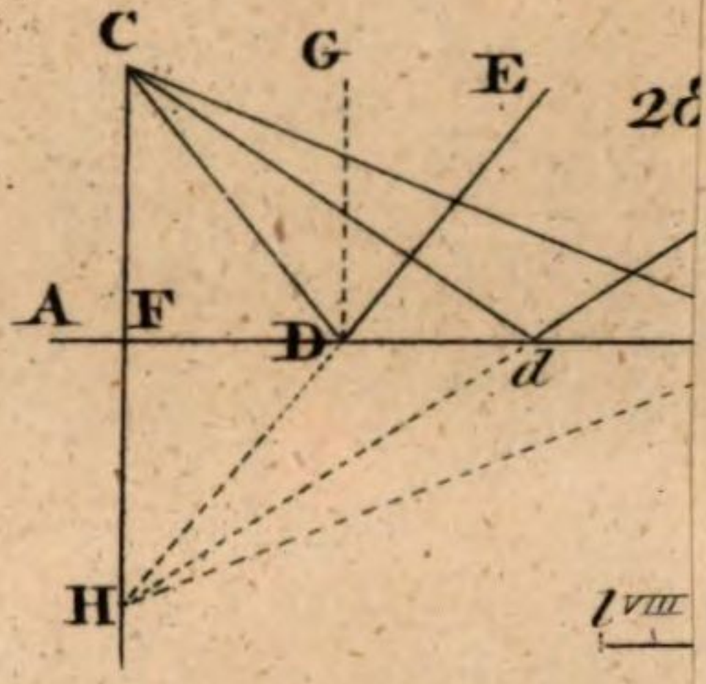
9.

19.

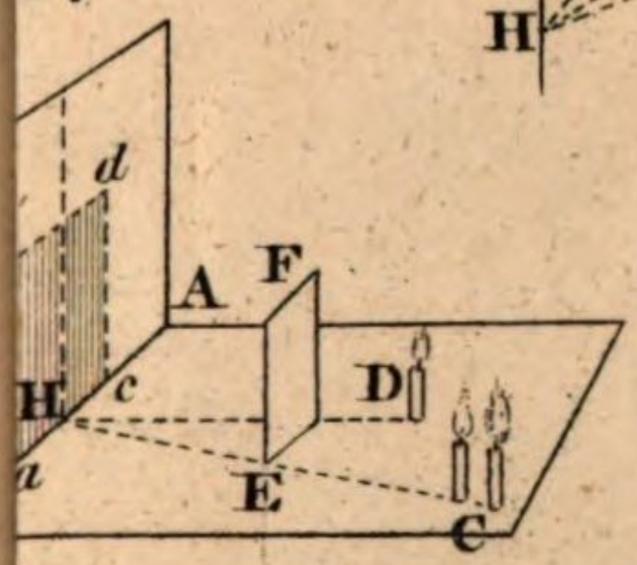


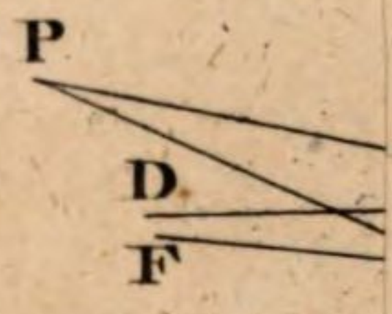
20.

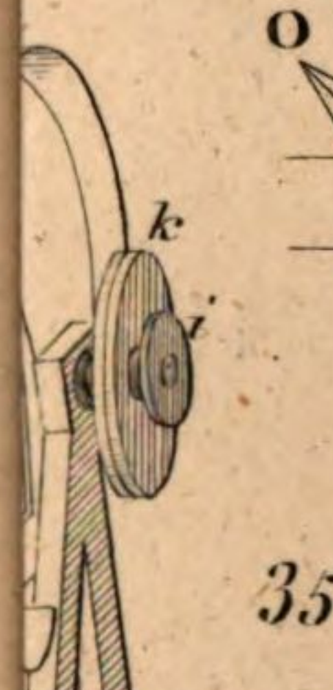




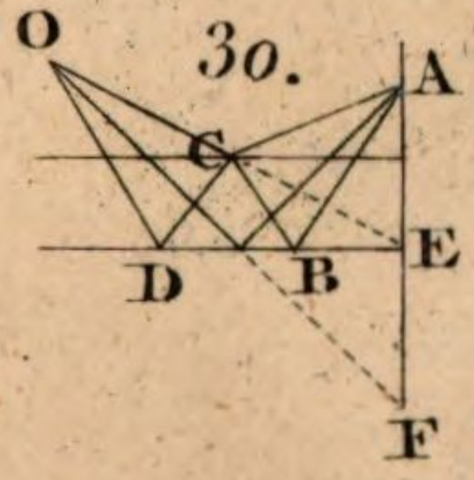
5.



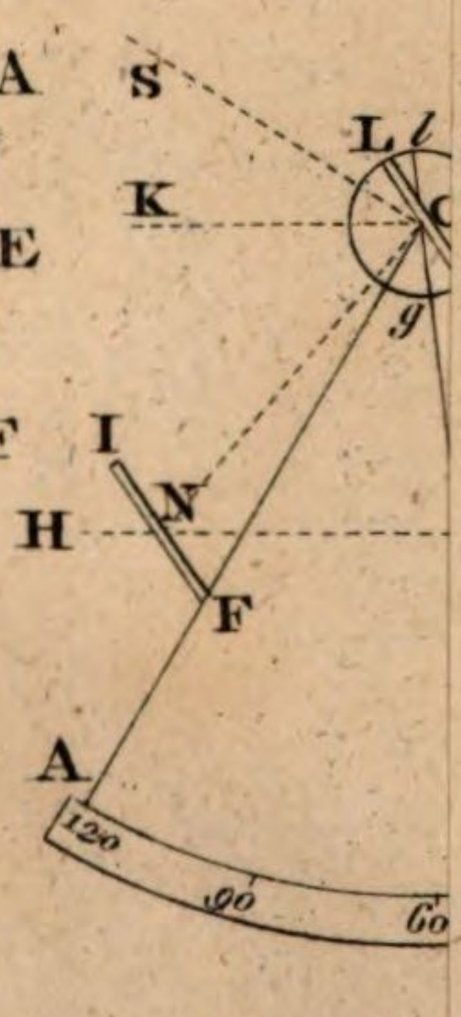




30.



35.



BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Brandes, Heinrich Wilhelm

Vorlesungen über die Naturlehre zur Belehrung derer, denen es an mathematischen Vorkenntnissen fehlt

Bd.: 2

Leipzig 1831
BHS II H 40-2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10707508-6